



**DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO**  
**Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño**

**SKETCHING APOYADO EN COMPUTACIÓN.**  
**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS Y ATRIBUTOS**  
**QUE PERMITEN LA EFICIENCIA DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS**  
**EN LA ETAPA CREATIVA DEL PROCESO DE DISEÑO DE PRODUCTO**

**Alejandro Acuña López**

Tesis para optar por el Grado de Doctor en Diseño  
Línea de investigación: Nuevas Tecnologías

Miembros del jurado:

**Dra. María Aguirre Tamez**  
*Directora de tesis*

Dr. Miguel Ángel Herrera Batista  
Dr. Emilio Martínez de Velasco y Arellano  
Dr. Rodrigo Ramírez Ramírez  
Dr. Marco V. Ferruzca Navarro  
Dr. Oscar Salinas Flores

México D.F.  
**Julio de 2014**

# Agradecimientos

A la Dra. María Aguirre por su (enorme) paciencia y apoyo durante todo este tiempo.

A los lectores Dr. Miguel Ángel Herrera Batista, Dr. Emilio Martínez de Velasco y Arellano, Dr. Rodrigo Ramírez Ramírez y Dr. Marco V. Ferruzca Navarro, por sus valiosos comentarios al documento de tesis.

Al Dr. Oscar Salinas Flores por su apoyo de siempre.

Al Dr. Ricardo Sosa por su gran apoyo.

A la Dra. Teresita Martin del Campo por su gran apoyo para la realización del análisis estadístico.

Al Dr. John S. Gero por sus valiosos comentarios al estudio.

A los alumnos de la licenciatura en Diseño Industrial del Tecnológico de Monterrey campus Querétaro Erick Giovanny Ledesma, Paulina Hernández, Steve Giles Cabrera, Jimena Espinoza, María Fernanda Monjarás, Luis Daniel Sánchez y Andrea Díaz por su gran apoyo y valiosa participación en el estudio.

Al diseñador industrial Pablo Ruy, a la arquitecta Nuria Hernández y al diseñador gráfico Ivo Ezeta por sus valiosas participaciones en el estudio.

A Luis Raúl Moysen y Cecilia Castellanos por su gran apoyo durante estos (casi 6) años.

A Martín Ruiz del Centro de Medios del Tecnológico de Monterrey Campus Querétaro por su apoyo para la realización y análisis del estudio.

Por último, y no menos importante, a mi familia por todo su apoyo incondicional: mis hijos Diego y Naty, y muy en especial a mi esposa (te amo Grace...lo logramos).



# Resumen

*Descriptores: sketching, etapa creativa, herramientas tecnológicas*

Hoy en día es posible afirmar que el diseñador puede prescindir del papel y lápiz para aterrizar y desarrollar sus primeras ideas. Esto es posible debido a los últimos avances tecnológicos en materia de programas computacionales y dispositivos de procesamiento. El objetivo general de la presente tesis es analizar las características y atributos que permiten a ciertas herramientas tecnológicas soportar la etapa creativa del proceso de diseño de producto. Como objetivos específicos, por su parte, se consideran los siguientes: identificar los diferentes tipos de representaciones utilizadas en el proceso de diseño de producto, haciendo énfasis en las principales propiedades y características del *sketch*; describir las diferentes tipos de herramientas tecnológicas utilizadas en el proceso de diseño de producto, en especial las susceptibles de ser utilizadas en la etapa creativa del proceso de diseño de producto; por último, desarrollar un instrumento para elaborar un experimento, el cual pretende evaluar la eficiencia de tres de los programas computacionales más utilizados en la etapa creativa del proceso de diseño, mediante un ejercicio de representación y exploración conceptual.

Dado que este problema ha sido poco estudiado, el experimento realizado fue de tipo exploratorio y con un enfoque cuanti-cualitativo, centrándose en la capacidad de representación de las primeras ideas en los programas computacionales seleccionados, dejando de lado todo lo relacionado con la actividad mental del diseñador. Con base en este estudio, podemos afirmar que el instrumento desarrollado resultó adecuado para su propósito y que, en cuanto a los programas estudiados, existen una serie de características y atributos que permiten que ciertas herramientas sean eficaces para la representación y desarrollo de las primeras ideas en la etapa creativa del proceso de diseño de producto. Sin embargo, es necesario precisar que estos resultados nos son concluyentes, pero sin duda este experimento servirá como punto de partida para investigaciones posteriores.

# Abstract

*Keywords: sketching, creative stage, technological tools*

Today it is possible to affirm that the designers can materialize and develop their first ideas without paper and pencil. This is possible due to the latest technological advances in the field of design software and processing devices. The overall objective of this thesis is to analyze the characteristics and attributes that allow certain technological tools support the creative stage of product design process. The specific objectives are the following: identify the different types of representations used in the product design process, emphasizing the main features and characteristics of the sketch; describe the different types of technological tools used in the product design process, especially those likely to be used in the creative stage; and finally, to develop a tool to do a study which evaluates efficiency of three computer programs most used in the creative phase of the design process, through an exercise of representation and conceptual exploration.

Given that this problem has been poorly studied, the pilot study was exploratory and quantitative-qualitative approach, focusing on the ability to represent the first ideas in selected computer programs, leaving aside everything related to the mental activity of the designer. Based on the study, we can say that there are a number of features and attributes that allow certain technological tools are efficient for representation and development of the first ideas in the creative stage of product design. However, it should be noted that these results are inconclusive, because it would require a larger sample, but this study will serve as a starting point for further research.

# Contenido

Índice de tablas .....	viii
Índice de figuras .....	ix
Prólogo .....	xiv
Capítulo I: Planteamiento del problema .....	1
1.1 Situación problemática .....	1
1.2 Definición del problema de investigación .....	7
1.3 Objetivos de la investigación .....	12
1.4 Pregunta de investigación .....	12
1.5 Justificación .....	13
1.6 Viabilidad del estudio .....	13
1.6.1 Disponibilidad de recursos .....	13
1.6.2 Alcances del estudio .....	14
1.7 Método del estudio .....	14
1.8 Resultados y aportaciones obtenidos .....	14
1.9 Organización del informe .....	15
Capítulo II: Marco teórico .....	16
2.1 Definición del diseño industrial .....	16
2.2 El proceso de desarrollo de productos .....	17
2.3 El proceso de diseño .....	18
2.4 Las Representaciones Visuales de Diseño en 2 dimensiones en el proceso de diseño .....	21
2.5 Las Representaciones Visuales de Diseño en 3 dimensiones en el proceso de diseño .....	23
2.6 Representaciones virtuales tridimensionales .....	25
2.7 Herramientas tecnológicas en el proceso de diseño .....	26
2.8 Las Representaciones Visuales de Diseño y las herramientas tecnológicas en la etapa creativa .....	28
Capítulo III: Representaciones Visuales de Diseño .....	32
3.1 Representaciones Visuales de Diseño en 2 dimensiones .....	32
3.1.1 Representaciones abstractas .....	32
3.1.2 <i>Sketches</i> .....	34

3.1.3 Dibujos.....	34
3.1.4 Clasificación de los <i>sketches</i> y dibujos.....	35
3.1.4.1 Clasificación de <i>sketches</i> .....	36
3.1.4.2 Clasificación de dibujos.....	39
3.1.5 Atributos del <i>sketch</i> .....	44
3.1.6 Funciones y potencialidad del <i>sketch</i> .....	45
3.2 Representaciones Visuales de Diseño en 3 dimensiones .....	48
3.2.1 Clasificación de las Representaciones Visuales de Diseño en tres dimensiones.....	48
Capítulo IV: Herramientas tecnológicas en el proceso de diseño .....	55
4.1 Software.....	55
4.2 Hardware .....	58
4.2.1 Dispositivos de entrada.....	58
4.2.2 Dispositivos de procesamiento.....	63
4.2.3 Dispositivos de salida.....	64
Capítulo V: Experimento.....	67
5.1 Planteamiento del experimento .....	67
5.1.1 Supuesto.....	67
5.1.2 Objetivo del experimento.....	68
5.1.3 Delimitación del experimento.....	68
5.1.4 Diseño de la investigación.....	68
5.1.5 Variables .....	69
5.1.6 Sujetos del experimento.....	71
5.1.7 Preguntas del experimento.....	72
5.2 Diseño del instrumento.....	73
5.3 Ejecución del experimento.....	80
5.3.1 Condiciones de trabajo.....	80
5.3.2 Resultados del experimento.....	81
5.4 Análisis de los resultados del estudio.....	87
5.4.1 Análisis 1: Comparativo entre novato y experto en cada Estudio (A, B y C).....	89
5.4.2 Análisis 2: Comparativo entre Estudios A, B y C.....	95
5.4.3 Análisis 3: Comparativo de experto en Estudios A y 0 .....	98
5.4.4 Análisis global de los resultados.....	101
Capítulo VI: Observaciones finales y recomendaciones.....	103

6.1 Observaciones generales.....	103
6.1.1 Características y atributos de herramientas tecnológicas que apoyan la etapa creativa.....	103
6.1.2 Características y condiciones de herramientas tecnológicas que entorpecen la etapa creativa.....	106
6.2 Observaciones y recomendaciones del estudio.....	107
6.3 Difusión de los resultados del estudio.....	110
6.4 Trascendencia del tema de investigación .....	111
Fuentes de información .....	112
Sitios web.....	117
Fotografías y figuras.....	118
Anexo 1: <i>Personal sketches</i> de los Estudios A-B-C.....	125
<i>Personal sketches</i> del Estudio A.....	122
<i>Personal sketches</i> del Estudio B.....	123
<i>Personal sketches</i> del Estudio C.....	124
Anexo 2: Registro de tiempos de los Estudios A-B-C.....	125
Tiempos de realización de <i>sketches</i> en Estudio A.....	126
Tiempos de realización de <i>sketches</i> en Estudio B.....	127
Tiempos de realización de <i>sketches</i> en Estudio C.....	128
Anexo 3: Ejemplo de gráficas de Minitab para Análisis 1 de Estudio A.....	129
Anexo 4: Concentrados de figuras para Análisis 1-2-3.....	136
Concentrado para Análisis 1.....	137
Concentrado para Análisis 2.....	140
Concentrado para Análisis 3.....	138
Anexo 5: Ejemplo de gráficas de Minitab para Análisis 2 de Estudio A.....	145
Curriculum Vitae:.....	153

# Índice de tablas

<b>Tabla 1.1</b>	Influencia de la tecnología en el proceso de diseño de producto.....	6
<b>Tabla 2.1</b>	Representaciones Visuales de Diseño y herramientas tecnológicas en el proceso de diseño.....	20
<b>Tabla 3.1</b>	Representaciones Visuales de Diseño en 2 dimensiones, basado en Evans, 2009.....	35
<b>Tabla 3.2</b>	Representaciones Visuales de Diseño en 3 dimensiones, basado en Evans, 2009.....	48
<b>Tabla 5.1</b>	Descripción de software y hardware utilizados en los estudios.....	70
<b>Tabla 5.2</b>	Registro de tiempos de Estudio A Sección 1.....	83
<b>Tabla 5.3</b>	Registro de tiempos de Estudio A Sección 2.....	84
<b>Tabla 5.4</b>	Registro de tiempos de Estudio A Sección 3.....	84
<b>Tabla 5.5</b>	Registro de tiempo y calidad del Estudio A referentes a la ejecución de los <i>personal sketches</i> de las figuras basadas en la esfera de la sección 1.....	85
<b>Tabla 5.6</b>	Nomenclatura para análisis de resultados del estudio.....	87
<b>Tabla 5.7</b>	Promedios de tiempo y calidad del Estudio A.....	91
<b>Tabla 5.8</b>	Promedios de tiempo y calidad del Estudio B.....	91
<b>Tabla 5.9</b>	Promedios de tiempo y calidad del Estudio C.....	91
<b>Tabla 5.10</b>	Promedios, porcentajes y factores de tiempo-calidad en la realización de <i>sketches</i> .....	92
<b>Tabla 5.11</b>	Promedios de tiempo y calidad de novatos y expertos en los diferentes programas computacionales.....	96
<b>Tabla 5.12</b>	Resultados de tiempos para Análisis 3.....	99
<b>Tabla 5.13</b>	Comparativa de promedios de figuras en los diferentes estudios.....	100

# Índice de figuras

<b>Figuras 1.1 y 1.2</b> Ejemplos de diseño generativo de Ronald Crowe.....	1
<b>Figuras 1.3, 1.4 y 1.5</b> Anillo de bola de malla: modelación 3D, prototipo rápido y pieza final.....	2
<b>Figuras 1.6 y 1.7</b> Representaciones virtuales tridimensionales con superficies y <i>frames</i> .....	3
<b>Figura 1.8</b> Diálogo con el <i>sketch</i> , basado en “ <i>A sketch of a Dialogue with a Sketch</i> ” (Buxton, 2007).....	4
<b>Figura 1.9</b> Proceso interactivo de visión, imaginación y representación en el dibujo (Ching, 2007).....	4
<b>Figura 1.10</b> Ejemplos de elementos emergentes durante el <i>sketching</i> , obtenido del paper <i>Observations on ambiguity in design sketches</i> (Prats, 2006).....	5
<b>Figuras 1.11 y 1.12</b> Sketches realizados por el novato y el experto respectivamente. Tomado del paper <i>Sketching as Mental Imagery Processing</i> (Kavakli & Gero, 2001).....	8
<b>Figura 1.13</b> Ejemplos de reinterpretaciones de una figura a través de factores geométricos.....	9
<b>Figura 1.14</b> Interface de extrusión en SESAME.....	10
<b>Figura 2.1</b> El proceso de desarrollo de productos, basado en Buxton, 2007.....	17
<b>Figura 2.2</b> Etapas del proceso de diseño, basado en Markus y Maver (Lawson, 1997).....	18
<b>Figura 2.3</b> <i>Design Think Process</i> de Hasso Plattner Institute of Design de Stanford.....	18
<b>Figura 2.4</b> Ejemplo de <i>brainsketching</i> .....	19
<b>Figura 2.5</b> Ejemplos de <i>sketches</i> . Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.....	21
<b>Figura 2.6</b> Ejemplo de dibujo de ingeniería. Cortesía de Mariana Huelsz Ocádiz.....	22
<b>Figura 2.7</b> Modelo de apariencia. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.....	23
<b>Figura 2.8</b> Prototipo de “banca-estereo”. Cortesía de Diana Albarrán González.....	24
<b>Figura 2.9</b> Representación virtual tridimensional de propuesta de administrador de medicamentos para niños. Cortesía de Alejandra Muñoz, María José Natera y Lucía Valdovinos.....	25
<b>Figuras 2.10 y 2.11</b> Aplicación SketchBook Pro en dispositivo móvil iPad, tomado de video en You Tube “Autodesk SketchBook Pro for iPad”.....	26
<b>Figura 2.12</b> Ejemplo de equipo de prototipado rápido: Impresora de sólidos ZCorporation 310. Cortesía del DICI-ITESM Campus Querétaro.....	27
<b>Figura 2.13</b> Ejemplo de <i>sketch</i> . Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.....	28
<b>Figuras 2.14 y 2.15</b> Intefaz e imagen de tutorial del programa computacional SketchUp.....	29
<b>Figura 2.16</b> Uso de tableta digitalizadora en programa computacional SketchBook Pro.....	30
<b>Figura 3.1.</b> Mapa mental de Química.....	33

<b>Figura 3.2</b> Ejemplo de mapa conceptual, basado en “La creación de mapas conceptuales en una presentación”.....	33
<b>Figura 3.3</b> Ejemplo de <i>sketch</i> . Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.....	34
<b>Figura 3.4</b> Ejemplo de dibujo de presentación realizado por computadora. Cortesía de Paulina Hernández Santamaría.....	35
<b>Figura 3.5</b> Ejemplo de <i>idea sketch</i> . Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.....	36
<b>Figura 3.6</b> Ejemplo de <i>study sketches</i> (Olofsson, 2007).....	37
<b>Figura 3.7</b> Ejemplo de <i>referential sketch</i> . Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.....	37
<b>Figura 3.8</b> Ejemplo de <i>memory sketch</i> . Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.....	38
<b>Figura 3.9</b> Ejemplo de <i>explanatory sketch</i> . Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.....	38
<b>Figuras 3.10 y 3.11</b> Ejemplos de <i>persuasive sketches</i> . Cortesía de David García Rodríguez.....	39
<b>Figura 3.12</b> Ejemplos de dibujos de concepto realizados por computadora. Cortesía de Cortesía de Andrea Alvarado Saltijeral.....	39
<b>Figura 3.13</b> Ejemplo de dibujo de presentación. Cortesía de Lorena Mendoza y Andrea Magaña.....	40
<b>Figura 3.14</b> Ejemplo de <i>story board</i> .....	40
<b>Figura 3.15</b> Diagrama de un plano inclinado.....	41
<b>Figura 3.16</b> Ejemplo de dibujo de vista única. Cortesía de Mariana Huelsz Ocádiz.....	41
<b>Figura 3.17</b> Ejemplo de dibujo de múltiples vistas. Cortesía de Armando Campos Gascón e Igor Orozco Villagómez.....	42
<b>Figura 3.18</b> Ejemplo de <i>general arrangement drawing</i> . Cortesía de Mariana Huelsz Ocádiz.....	42
<b>Figura 3.19</b> Ejemplo de dibujo técnico. Cortesía de Paulina Hernández Santamaría.....	43
<b>Figura 3.20</b> Ejemplo de dibujo descriptivo (Buxton, 2007).....	43
<b>Figura 3.21</b> Procesos interpretativos, transformacionales y de reagrupación, basado en Prats, 2006.....	46
<b>Figuras 3.22 y 3.23</b> Transformaciones laterales y verticales (Prats, 2006).....	46
<b>Figura 3.24</b> La secuencia de <i>sketches</i> y prototipos, basado “ <i>The sketch to prototype continuum</i> ” de Buxton, 2007.....	47
<b>Figuras 3.25 y 3.26</b> Fotografías de prototipo de bicicleta abatible. Cortesía de Jesús Igor Orozco Villagómez, Gilberto Castillo Martell, Ana Karen Rodríguez Sandoval e Ileana del Río Garibay.....	48
<b>Figuras 3.27 y 3.28</b> Ejemplos de <i>3D sketching</i> y <i>3D sketch</i> .....	50
<b>Figura 3.29</b> Modelos de desarrollo.....	50
<b>Figura 3.30</b> Ejemplo de modelo ergonómico. Cortesía de Alejandra Muñoz García.....	51
<b>Figuras 3.31 y 3.32</b> Ejemplo de modelo de apariencia. Cortesía de Luis Daniel Sánchez.....	51



<b>Figura 3.33</b> Modelo conceptual de producción. Cortesía de Tomás Rodríguez Hernández y José Antonio Martínez Grande.....	52
<b>Figura 3.34</b> Modelo conceptual funcional.....	53
<b>Figura 3.35</b> Ejemplo de prototipo realizado con máquinas-herramienta. Cortesía de Amir Bonaventura, Julián Galeana y Jorge Octavio Pérez.....	53
<b>Figura 3.36</b> Ejemplo de <i>sample</i> . Cortesía de Gabriela Coronado, Alberto Solís, Fernando Sarvide y Alejandro Suárez.....	54
<b>Figura 4.1</b> Ejemplo de <i>sketch</i> en Paint. Cortesía de Luis Daniel Sánchez García.....	56
<b>Figura 4.2</b> Ejemplo de objeto construido en Rhinoceros.....	57
<b>Figura 4.3</b> Ejemplo de objeto construido en Solid Edge.....	57
<b>Figura 4.4</b> Teclado de tela.....	59
<b>Figura 4.5</b> Logitech <i>Marble Mouse</i> con <i>trackball</i> .....	59
<b>Figuras 4.6 y 4.7</b> <i>Magic trackpad</i> de Apple y los diferentes “gestos” para realizar un <i>click</i> , desplazar, deslizar y girar.....	60
<b>Figuras 4.8 y 4.9</b> Tableta Cintiq 24HD.....	60
<b>Figura 4.10</b> Multifuncional Epson WorkForce T42WD.....	61
<b>Figuras 4.11 y 4.12</b> Brazo digitalizador Microscribe 3D Laser y escáner láser ZScanner 800 de ZCorporation.....	61
<b>Figuras 4.13 y 4.14</b> <i>Inkling Digital Sketch Pen</i> de Wacom.....	62
<b>Figura 4.15</b> <i>Mouse</i> con escáner modelo Smart Scan LMS-100 de la empresa LG.....	62
<b>Figuras 4.16 y 4.17</b> iMac de Apple y Dell Precision T7500 Tower Workstation.....	63
<b>Figuras 4.18 y 4.19</b> Dispositivos de salida 2D: Impresora de tinta Epson Stylus T22 y plóter de tinta.....	64
<b>Figura 4.20</b> Equipo de prototipado rápido uPrint SE de Stratasys.....	65
<b>Figura 4.21</b> Programa computacional <i>I Love Sketch</i> .....	66
<b>Figura 5.1</b> Variables del estudio.....	70
<b>Figura 5.2</b> Ejemplo de evaluación de calidad de copiado.....	71
<b>Figura 5.3</b> Parte 1 del instrumento. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.....	73
<b>Figura 5.4</b> Fase 2 del instrumento. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.....	74
<b>Figura 5.5</b> Componentes de la tetera. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.....	75
<b>Figura 5.6</b> Parte 3 del instrumento. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.....	76
<b>Figura 5.7</b> Parte 4 del instrumento. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.....	77

<b>Figura 5.8</b> Parte 5 del instrumento. Perspectiva con sombras de la propuesta elegida en la parte 4. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.....	78
<b>Figuras 5.9 y 5.10</b> Formatos de las secciones 1 y 2 del instrumento.....	79
<b>Figuras 5.11 y 5.12</b> Formatos de las secciones 3 y 4 del instrumento.....	79
<b>Figura 5.13</b> Sesión de trabajo de secciones 1 a 4 del Estudio A Cortesía de Steve Giles Cabrera Herrera.....	80
<b>Figuras 5.14 y 5.15</b> <i>Personal sketches</i> de las secciones 1 y 2 del Estudio A. Cortesía de Steve Giles Cabrera Herrera.....	81
<b>Figuras 5.16 y 5.17</b> <i>Personal sketches</i> de las secciones 3 y 4 del Estudio A. Cortesía de Steve Giles Cabrera Herrera.....	81
<b>Figuras 5.18 y 5.19</b> Parte 5 del Estudio A: Representación en SketchBook pro de las secciones 1 y 2. Cortesía de Steve Giles Cabrera Herrera.....	82
<b>Figuras 5.20 y 5.21</b> Parte 5 del Estudio A: Representación en SketchBook pro de las secciones 3 y 4. Cortesía de Steve Giles Cabrera Herrera.....	82
<b>Figuras 5.22 y 5.23</b> Parte 6 del Estudio A: Representación en SketchBook Pro de segmentos de las secciones 1 y 2. Cortesía de Pablo Ruy Sánchez.....	83
<b>Figuras 5.24 y 5.25</b> Parte 6 del Estudio A: Representación en SketchBook Pro de segmentos de la sección 3 y 4. Cortesía de Pablo Ruy Sánchez.....	83
<b>Figura 5.26</b> Imagen de archivo en Minitab del Estudio A Sección 1 utilizado para el análisis Comparativo 1.....	86
<b>Figura 5.27</b> Imagen del archivo completo de Minitab correspondiente al Estudio A sección 1 utilizado para el análisis comparativo 1.....	86
<b>Figuras 5.28 y 5.29</b> Comparativos de Estudio A: segmentos de secciones 1 y 2 respectivamente.....	89
<b>Figuras 5.30 y 5.31</b> Comparativo de Estudio B: Segmentos de secciones 1 y 2 respectivamente.....	89
<b>Figuras 5.32 y 5.33</b> Comparativo de Estudio C: Segmentos de secciones 1 y 2 respectivamente.....	90
<b>Figuras 5.34 y 5.35</b> Comparativos de Estudio A: segmentos de sección 3 y 4 respectivamente .....	90
<b>Figuras 5.36 y 5.37</b> Gráficas de promedios de tiempo y calidad del Estudio A Sección 1.....	92
<b>Figura 5.38</b> Concentrado de Sección 1 del Estudio B.....	93
<b>Figura 5.39</b> Simulación de la representación de un cubo en Illustrator por parte del novato.....	93
<b>Figura 5.40</b> Simulación de la representación de un cubo en Illustrator por parte del experto.....	94
<b>Figuras 5.41 y 5.42</b> Comparativos de Estudios A-B-C: segmentos de secciones 1 y 5 respectivamente...95	95
<b>Figura 5.43</b> Comparativos de Estudios A-B-C segmentos de sección 6.....	95
<b>Figura 5.44</b> Segmentos del Concentrado de figuras para Análisis 2.....	96

<b>Figuras 5.45 y 5.46</b> Gráficas de promedios de tiempo y calidad de expertos de Estudios A-B-C en Sección 1.....	97
<b>Figuras 5.47 y 5.48</b> Gráficas de promedios de tiempo y calidad de expertos de Estudios A-B-C en Sección 2.....	97
<b>Figuras 5.49 y 5.50</b> Gráficas de promedios de tiempo y calidad de expertos de Estudios A-B-C en Sección 3.....	97
<b>Figuras 5.51 y 5.52</b> Comparativos de experto en SketchBook Pro: segmentos de secciones 1 y 4 respectivamente.....	98
<b>Figura 5.53</b> Comparativo de figuras realizadas por los novatos y el experto en SketchBook Pro en la Sección 1.....	100
<b>Figura 5.54</b> Comparativo de figuras realizadas por los novatos y el experto en SketchBook Pro en la Sección 2.....	101
<b>Figura 6.1</b> Círculos trazados con y sin plantilla respectivamente.....	104
<b>Figura 6.2</b> <i>Sketch</i> con aplicación de sombras.....	104
<b>Figura 6.3</b> <i>Sketch</i> realizado en SketchBook Pro para iPhone.....	105

## Prólogo

A lo largo de mis 11 años como profesor en la Licenciatura en Diseño Industrial, impartiendo materias relacionadas con el proceso de diseño, dibujo, modelos y prototipos, he enseñado las técnicas tradicionales relacionadas con la representación, desarrollo y comunicación de las propuestas de diseño. Es decir, cómo las diferentes categorías de bocetos, así como las representaciones tridimensionales, permiten conducir el proceso de diseño. Por otra parte, he observado cómo las herramientas tecnológicas se siguen enseñando a los alumnos únicamente como medios para la comunicación y validación de la propuesta de diseño; se da por hecho que los primeros procesos de exploración formal son labor exclusiva del bocetado a mano alzada o *sketching*, una práctica que data de hace varios siglos.

Con base en lo anterior, el objetivo principal de esta tesis es determinar las características y atributos que permiten a ciertas herramientas tecnológicas sean eficientes para soportar la etapa creativa del proceso de diseño de producto. Es decir, explicar por qué determinados *software* y *hardware* pueden apoyar de manera efectiva los procesos de representación, exploración y desarrollo de las primeras ideas. Para lograr esto se considera importante partir del entendimiento a profundidad del *sketching*; reconocer las principales representaciones y herramientas tecnológicas utilizadas en el proceso de diseño; determinar una metodología de estudio que permita reconocer qué tipo de programas computacionales son más adecuados para la etapa creativa del proceso de diseño, evidenciando las características y posibilidades tecnológicas que hacen esto posible.

Considero, además, que los resultados de esta investigación aportarán su grano de arena para el reconocimiento del papel de las nuevas tecnologías en el cambio de paradigma del cómo-hacer del diseñador de producto. Se evidenciará que los últimos desarrollos tecnológicos permiten al diseñador realizar la totalidad de las Representaciones Visuales de Diseño en 2 dimensiones<sup>1</sup>, identificadas como el eje principal del proceso de diseño (Lawson, 1997).

---

<sup>1</sup> Término de Evans, Pei y Campbell (2009) que concentra todas las manifestaciones en dos dimensiones, físicas y virtuales, de una propuesta de diseño, las cuales se subdividen en *sketches* y dibujos.

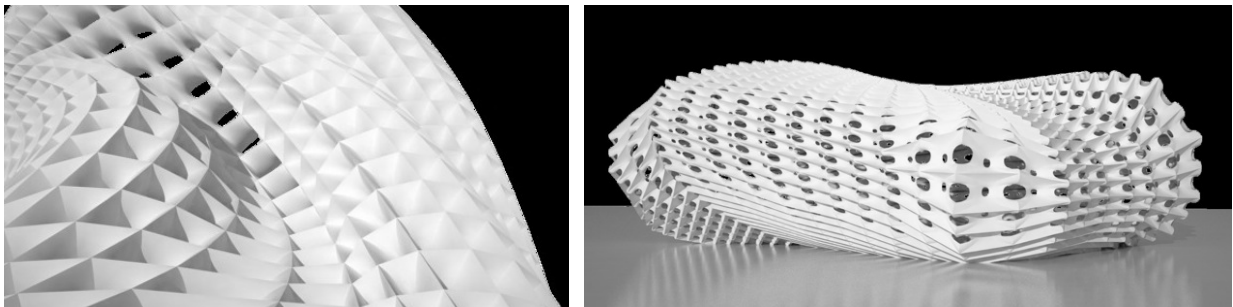
# Capítulo I: Planteamiento del problema

“Todo lo que se ha hecho esté siendo re-examinado. Los diseñadores están deconstruyendo los conceptos, los edificios, las computadoras, lo que sea y empiezan de nuevo. La nueva tecnología está permitiendo nuevas vías y medios para un diseño así” (Dolan, 2010)

## 1.1 Situación problemática

Sin duda, las nuevas tecnologías han cambiado de manera radical el proceso y creación en los diferentes ámbitos del diseño. Es innegable que hoy en día la tecnología permite expandir las posibilidades de diseño en todos los niveles y que nos encontramos ante un nuevo paradigma de diseño apoyado en las computadoras. En el diseño generativo, tal como lo menciona Sebastián Aguirre en su *paper Diseño Generativo, el computador como instrumento de creación*, el diseñador tiene la posibilidad, más allá de concebir una idea, de definir un proceso y la “genética” del producto, dejando a la computadora que conciba la forma final (Aguirre, S., 2013). Este método es utilizado para la explorar nuevas posibilidades de diseño en el arte, la arquitectura y el diseño de producto, entre otros. A este respecto, Sebastián Aguirre nos dice lo siguiente: “Por primera vez en la historia estamos frente a sistemas computacionales que nos permiten generar diseños resolviendo condiciones, donde la máquina es más que una herramienta o instrumento, es un aliado o socio en el proceso de la ejecución de un proyecto en particular” (Aguirre, S., 2013, p. 1).

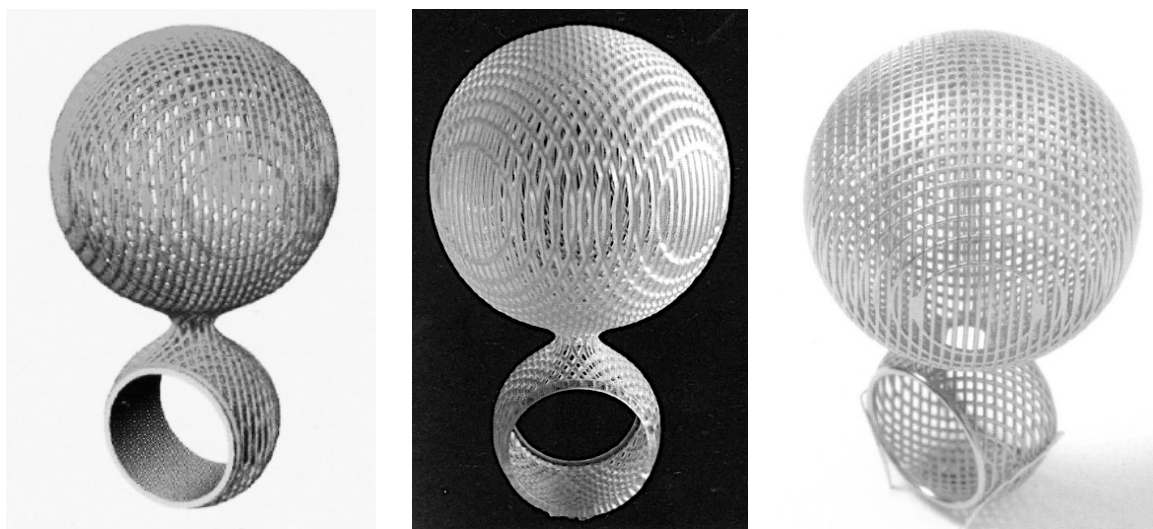
En la arquitectura, por ejemplo, podemos apreciar nuevas soluciones estructurales y formales que hasta hace pocos años eran difíciles de concebir. En las figuras 1.1 y 1.2 podemos apreciar dos ejemplos del llamado diseño generativo en propuestas conceptuales del arquitecto Ronald Crowe.



**Figuras 1.1 y 1.2** Ejemplos de diseño generativo de Ronald Crowe.

Es pertinente subrayar que, aunque la computadora adquiere cada vez más un mayor protagonismo en el proceso de diseño, la última palabra la tiene (y siempre la ha tenido) el diseñador. En concordancia con lo anterior, y en palabras de Alan Pipes, se puede afirmar que “los ordenadores son una tecnología neutral; no son un fin en sí mismos ni algo con lo que impresionar a los clientes, sino una herramienta más” (Pipes, 2008, p. 105).

Por otro lado, es importante mencionar que el proceso de diseño no sólo ha sido afectado en los últimos años por el *software*, sino también por la utilización de equipos de prototipado rápido<sup>1</sup>. Un ejemplo de lo anterior es el anillo de bola de malla de David Goodwin (Pipes, 2008). Para el diseño de esta pieza el diseñador utilizó los programas computacionales Rhinoceros y Flamingo para la visualización tridimensional (figura 1.3), así como un prototipo rápido con el apoyo de un equipo de estereolitografía o SLA<sup>2</sup> (figura 1.4). En la figura 1.5 se puede apreciar la pieza final fabricada en oro.



**Figuras 1.3, 1.4 y 1.5** Anillo de bola de malla: modelación 3D, prototipo rápido y pieza final.

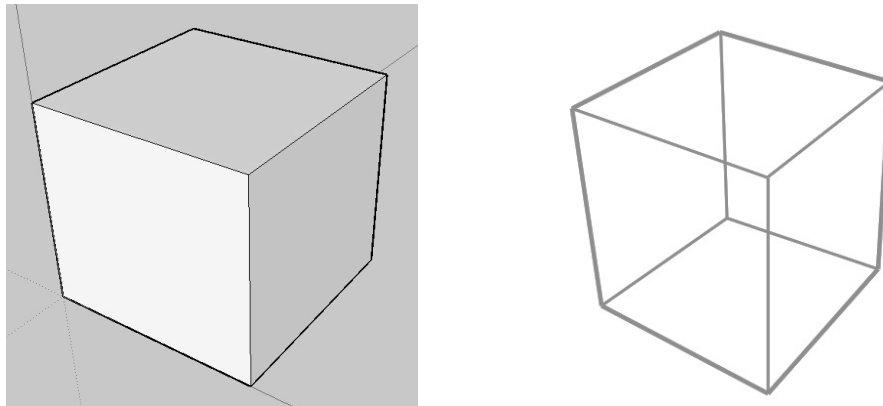
---

<sup>1</sup> Grupo de técnicas que se utilizan para fabricar rápidamente modelos o componentes de productos con el apoyo de un sistema CAD.

<sup>2</sup> Siglas en inglés de *Stereolithography Apparatus*.

Con base en los ejemplos antes mencionados, podemos afirmar que hoy en día la tecnología puede ser de gran ayuda al diseñador en la expansión de las posibilidades formales, así como en la visualización de sus propuestas de diseño, sólo por mencionar dos ejemplos. Lo anterior a través de programas computacionales de diseño y equipos de prototipado rápido.

Aunque en la actualidad se cuenta con una vasta oferta de herramientas tecnológicas, tales como programas computacionales y diferentes dispositivos, creados para realizar dibujos de manera rápida y sencilla, cabe señalar que muchos de estos desarrollos tecnológicos no necesariamente pueden soportar de manera eficaz la etapa creativa del proceso de diseño de producto. Esto debido a que estos programas se enfocan a la rápida representación tridimensional, ya sea por medio de sólidos, superficies y/o *frames*<sup>3</sup>. En las figuras 1.6 y 1.7 se pueden apreciar ejemplos de representaciones tridimensionales con superficies y *frames* respectivamente.



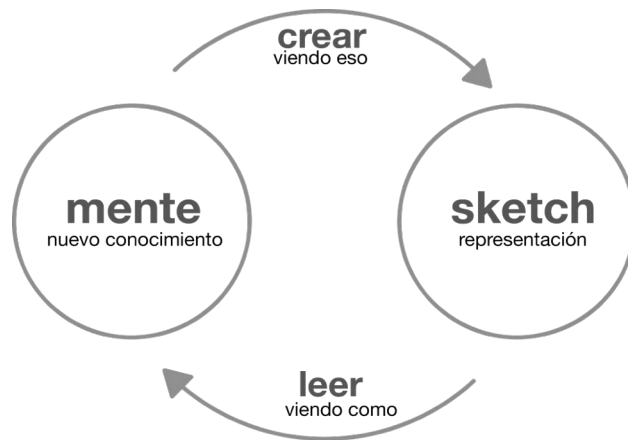
**Figuras 1.6 y 1.7** Representaciones virtuales tridimensionales con superficies y *frames*.

Esta visualización volumétrica no representa la mejor forma de aterrizar las ideas cuando se trata de diseñar un producto. Esto es debido a que los *sketches*<sup>4</sup>, con su alto grado de abstracción, permiten al diseñador reinterpretar la forma y desarrollar nuevas ideas a partir de *sketches* previos. Lo anterior puede explicarse de mejor manera con la figura 1.8.

---

<sup>3</sup> Término en inglés que se refiere a las líneas que resultan de la intersección de dos superficies.

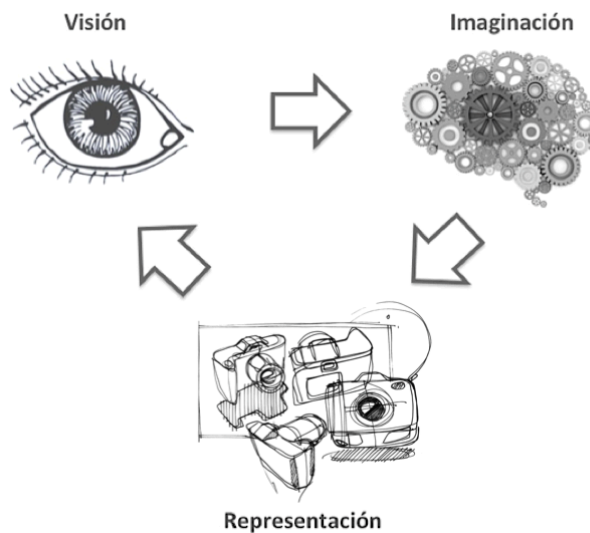
<sup>4</sup> Es importante mencionar que para efectos de este informe se utilizarán los términos *sketch* y *sketching*, esto debido a que son las denominaciones más reconocidas en el ámbito de la investigación en diseño.



**Figura 1.8** Diálogo con el *sketch*, basado en “*A sketch of a Dialogue with a Sketch*” (Buxton, 2007).

La figura 1.8 nos muestra que el *sketch* estimula la mente y esta a su vez representa algo nuevo a través de un nuevo *sketch* (Buxton, 2007). Esta es, sin duda, una de las claves del por qué el dibujo a mano alzada es el recurso más recurrido en la primer etapa del proceso de diseño, pues la posibilidad de realizar *sketches* de manera fluida, posibilita a su vez su rápida re-interpretación y por consecuencia la ágil generación de nuevas formas e ideas (Suwa, Tversky, Gero & Purcell, 2001).

Por otra parte, Francis D.K. Ching en su libro *Dibujo y Proyecto* (Ching, 1999), y en concordancia con Buxton, menciona que “en el fondo de cualquier dibujo existe un proceso interactivo de visión, imaginación y representación de las imágenes” (ver figura 1.9).



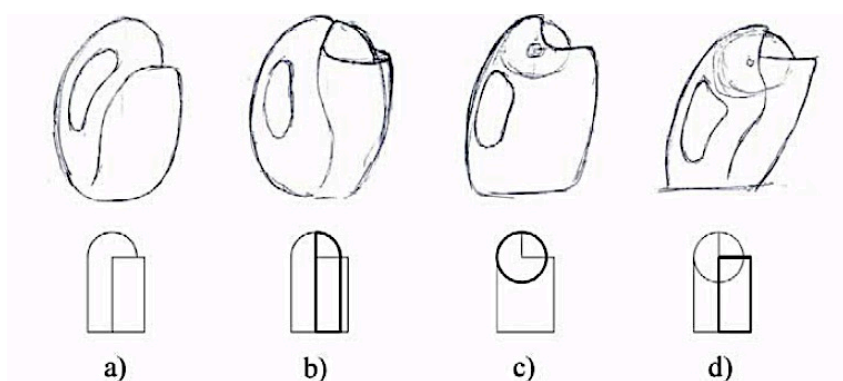
**Figura 1.9** Proceso interactivo de visión, imaginación y representación en el dibujo (Ching, 2007).



El proceso visión-imaginación-representación tiene su inicio en la vista, el sentido más desarrollado por el ser humano y “el canal sensorial primario por el que entramos en contacto con nuestro mundo” (Ching, 2007, p. 3). La vista resulta ser clave para dibujar de manera efectiva, así como el dibujo es clave para una vista efectiva (Laseau, 2004).

Posteriormente, la imaginación se hará cargo de la generación de las imágenes que intentaremos representar por medio del dibujo. Estas imágenes, producto de interrelaciones que se dan en la mente, son siempre generadas desde el conocimiento y las experiencias visuales (previas y presentes). En el caso del diseño de producto, podemos decir que en esta etapa es dónde se realiza la síntesis de los elementos que nos permitirán encontrar una solución a nuestro problema de diseño, resultando indispensable el contar con un amplio “acervo visual”.

Por último, la representación de estas imágenes (a través de *sketches*) será la manera de materializar nuestras ideas, las cuales servirán de *input* a la vista para reinterpretarse en la imaginación para su posterior representación y así sucesivamente hasta alcanzar el resultado deseado.



**Figura 1.10** Ejemplos de elementos emergentes durante el *sketching*, obtenido del *paper* “*Observations on ambiguity in design sketches*” (Prats, 2006).

Para entender mejor el proceso visión-imaginación-representación, la figura 1.10 nos presenta diferentes elementos emergentes en el *sketching* de propuestas de tetera: En los *sketches* b, c y d se puede observar el surgimiento de nuevos elementos formales a partir del primer *sketch* (estos elementos se resaltan con el apoyo de abstracciones ubicadas debajo de cada *sketch*). Los nuevos elementos surgen a través de procesos transformacionales<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> En el Capítulo III se explicarán a detalle los procesos transformacionales en el *sketching*.

Queda claro que el *sketching* es un proceso de diálogo continuo entre ojo, mente y mano, y que el *sketch* es la exteriorización de nuestros procesos mentales encaminados a dar una solución a un determinado problema de diseño. Pero lo anterior parece no ser del todo entendido por los desarrolladores de *hardware* y *software* para diseño, pues **existen programas y dispositivos que permiten el *sketching*, entendido como un proceso** (Gross & Do, 2004), **y otros que permiten la mera representación de ideas (centrados en el dibujo virtual tridimensional)**. Es decir, se privilegia en muchas de las ocasiones la fácil y rápida representación tridimensional de formas, lo cual limita la re-interpretación y el re-procesamiento mental, resultando en un proceso de *sketching* trunco e ineficiente.

Como hemos visto, en la actualidad la influencia de la tecnología es un factor de alto impacto en el quehacer del diseñador. Sin embargo, el impacto de la tecnología en la primera etapa del proceso de diseño, específicamente en la materialización de las primeras ideas de diseño, es aún muy limitado (Cheutet, V., Catalano, C., Pernot, J., Falcidieno, B., Giannini, F. & Leon, J. C., 2005). Lo anterior se puede observar en la tabla 1.1.

**Tabla 1.1** Influencia de la tecnología en el proceso de diseño de producto.

Requerimientos y representaciones en el proceso de diseño	Nivel de influencia de la tecnología	Comentarios y observaciones
Exteriorización de las primeras ideas	Bajo	Poco <i>software</i> puede realizar <i>personal sketches</i> de manera eficiente
Desarrollo de alternativas (exploración formal)	Medio	El diseño generativo requiere de cierto grado de especificación, además no es de uso generalizado
Representaciones en 2D	Alto	Todos los tipos de <i>sketches</i> y dibujos técnicos pueden ser ejecutados con el apoyo de determinado <i>software</i>
Representaciones en 3D	Alto	Existen muchas opciones de equipos de prototipado rápido que permiten la materialización de las propuestas de diseño (con grados medio y alto de especificación)
Representaciones virtuales en 3D	Muy alto	Mucho <i>software</i> de diseño permite la construcción 3D en ambientes virtuales
Verificación y validación	Muy alto	El <i>software</i> paramétrico permite la validación de las propuestas de diseño

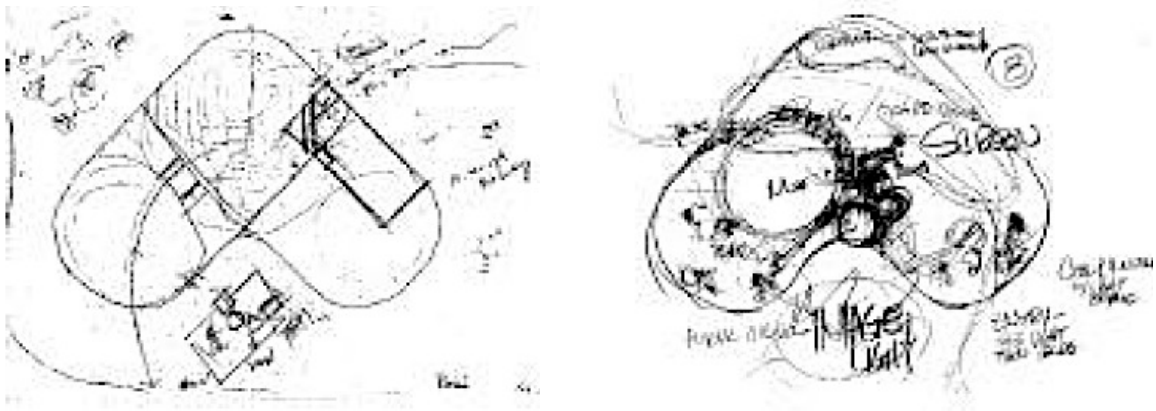
Esta tabla, elaborada con base en diferentes autores (Aguirre, S., 2013; Buxton, 2007; Cheutet, Catalano, Pernot, Falcidieno, Giannini & Leon, 2005; Chua, Leong & Lim, 2003; Evans, Pei & Campbell, 2009; Ohira, 1995; Pipes, 2008) y la experiencia personal docente, también pone de manifiesto que el impacto de la tecnología es mayor hacia el final del proceso de diseño. Esto pudiera explicarse debido a que los primeros programas comerciales CAD de los 70's (Tornincasa & Di Monaco, 2010) requerían de un alto grado de especificación de la propuesta de diseño. Además, el avance tecnológico de las últimas décadas ha permitido un cada vez mayor número de *software* y *hardware* puedan soportar un mínimo de especificación. En otras palabras, algunas herramientas tecnológicas actuales ya pueden manejar un alto grado de ambigüedad.

Con base en lo anterior, en el siguiente apartado se definirá el problema de investigación.

## **1.2 Definición del problema de investigación**

Antes de definir el problema de investigación se considera pertinente presentar un panorama general del estado de conocimiento en la materia. A este respecto podemos afirmar que existen autores que han investigado acerca del *sketch* y el proceso creativo desde diferentes perspectivas.

Un ejemplo de lo anterior es John S. Gero, que cuenta con más de 40 años de experiencia en el estudio de la creatividad y la computación. El Dr. Gero ha escrito un sinnúmero de libros y *papers* de investigación, algunos de los cuales presentan resultados muy interesantes de estudios en los que se analizan las acciones cognitivas de arquitectos en un proceso de diseño conducido por *sketching* (Kavakli & Gero, 2003, Kavakli & Gero, 2001). En la figura 1.11 se presentan dos imágenes de su *paper Sketching as Mental Imagery Processing*, en donde presentan ejemplos de bocetos realizados por un arquitecto novato y otro experto.



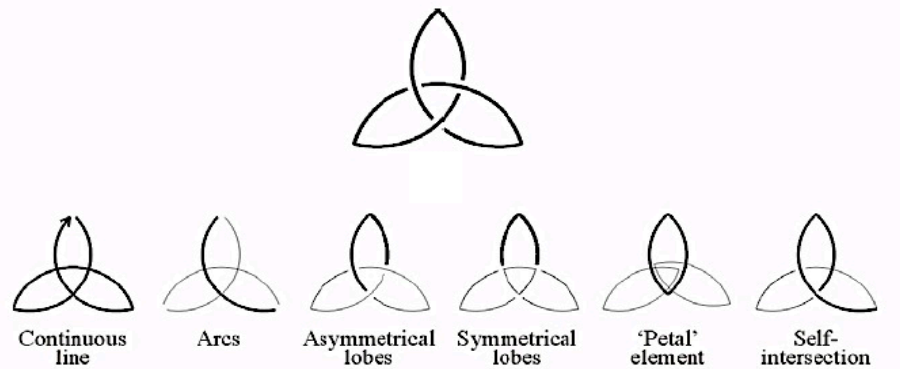
**Figuras 1.11 y 1.12** Sketches realizados por el novato y el experto respectivamente. Tomado del *paper Sketching as Mental Imagery Processing* (Kavakli & Gero, 2001).

Entre las conclusiones más relevantes de esta investigación podemos mencionar las siguientes:

- Más allá de las diferencias esperadas de efectividad entre los participantes, esta investigación pone de manifiesto que la capacidad del experto para utilizar la información almacenada en su memoria es una de las principales diferencias a su favor, esto con respecto al novato.
- La posibilidad de rotación mental de objetos es otra de las razones por las cuales el experto puede desarrollar diferentes alternativas que las realizadas por el novato.
- Por otro lado, el experto tiene más desarrollada la capacidad de representar objetos en su mente, los cuales puede interpretarlos incluso como objetos físicos. Lo anterior se traduce en un mayor número de propuestas de diseño diferentes (y con una menor cantidad de bocetos), lo anterior a diferencia del novato. Es importante mencionar que los tiempos de procesamiento mental del experto fueron significativamente mayores con respecto al novato.
- Los *sketches* estructurados del experto pueden ofrecer inferencias más perceptivas y cognitivas. Es decir, los *sketches* del experto son una mejor fuente de inspiración y reinterpretación que los ejecutados por el novato.

Por otra parte, el análisis del desempeño en el proceso de diseño, entre diseñadores de producto expertos y estudiantes, ha sido tema de estudio abordado en menor medida, lo anterior en comparación con arquitectos. Ejemplo de lo anterior es el *paper Synchronous versus asynchronous manipulation of 2D-objects in distributed design collaborations: Implications for the support of distributed team processes* (Rahman, Cheng & Bayerl, 2013).

Otros autores que han abordado el tema del *sketching* en el desarrollo de productos son Miquel Prats y Steve Garner, de los cuales su *paper Observations on ambiguity in design sketches* es de suma importancia para el presente trabajo de investigación (Prats & Garner, 2006), quienes presentan observaciones relacionadas con la ambigüedad de los *sketches* y cómo esta característica es clave para la creatividad. En la figura 1.4, se muestra un ejemplo mostrado en el mencionado *paper*, en el cual se evidencia las posibilidades de reinterpretación de una figura a través de factores geométricos.



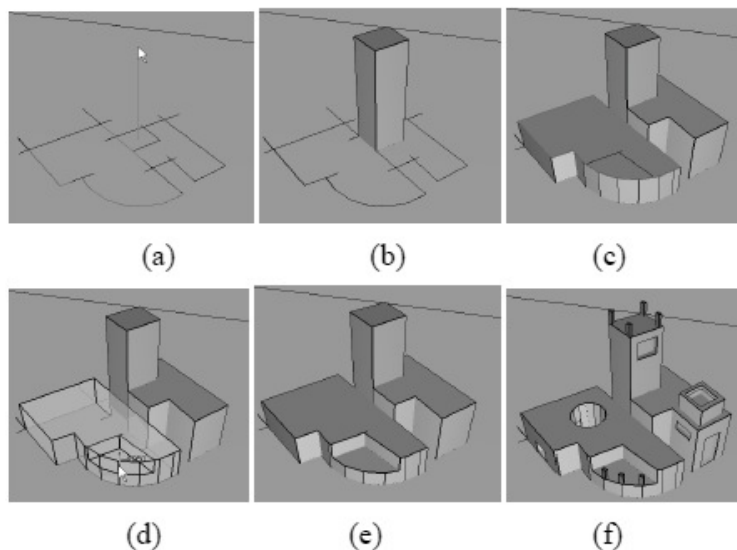
**Figura 1.13** Ejemplos de reinterpretaciones de una figura a través de factores geométricos. Tomados del *paper Observations on ambiguity in design sketches*.

Entre las principales conclusiones de este *paper* se pueden mencionar las siguientes:

- La capacidad de reinterpretación de los *sketches*, debido a su característica ambigüedad, es clave para el desarrollo de las propuestas de diseño y la efectividad del *sketching*.
- La posibilidad de ejecutar *sketches* con diferentes grados de abstracción/especificación permiten al diseñador poder validar sus propuestas de diseño.
- En el experimento se presentaron tres tipos de elementos emergentes: transformacionales, interpretativos y dimensionales.
- La obtención de elementos emergentes derivados de procesos transformaciones fueron los más utilizados por los participantes.

Existen autores, por su parte, que han comparado el *sketching* con respecto a la utilización de un nuevo programa computacional, como es el caso de Oh, Stuerzlinger y Danahy. Estos autores han realizado investigaciones en los que se comparan el programa computacional SESAME (Sketch, Extrude, Sculpt, and Manipulate Easily) y el *sketching* a mano alzada, lo anterior en el diseño conceptual en 3D (Oh, Stuerzlinger y Danahy, 2005), pero es importante mencionar que se limitan a describir las similitudes

y diferencias encontradas entre el *sketching* a mano alzada y la utilización de SESAME, haciendo especial énfasis en los potenciales roles de SESAME en el proceso de diseño conceptual. Es importante aclarar que el proceso de diseño 3D considerado en el estudio fue de carácter arquitectónico, tal y como puede apreciarse en la figura 1.14.



**Figura 1.14** Interface de extrusión en SESAME.

En un *paper* posterior denominado *SESAME: Towards better 3D conceptual design systems* (Oh, Stuerzlinger y Danahy, 2006) presentan una lista de directrices para el apoyo de herramientas tecnológicas en el diseño conceptual en 3D y presenta de nueva cuenta a SESAME como un sistema basado en estas directrices. También presentan un estudio de usuarios en el cual se compara este programa computacional con un paquete CAD convencional, lo anterior para demostrar la eficiencia del mismo.

Por su parte, Ibrahim y Rahimian han investigado acerca del impacto de herramientas CAD en su *paper* “*Comparison of CAD and manual sketching tools for teaching architectural design*” (Ibrahim & Rahimian, 2010). Este estudio encontró que a pesar de que las actuales herramientas CAD convencionales son ventajosas para el diseño de ingeniería a detalle, obstaculizan la creatividad de los diseñadores novatos, esto debido a su limitación en cuanto a la ideación intuitiva. Otro *paper* de investigación, “*An insight on designers’ sketching activities in traditional versus digital media*” (Bilda, Z. & Demirkan, H., 2003), analiza los procesos cognitivos de diseñadores de interiores al dibujar con medios tradicionales vs. computacionales.

El fenómeno del *sketching* ha sido motivo de interés de diversas investigaciones desde diferentes perspectivas y enfoques, alguna de ellas centradas en entender el fenómeno como tal del *sketching* (Cross, Christiaans & Dorst, 1996; Purcell & Gero, 1998; Bar-Eli, 2013, Yilmaz & Seifert, 2011; Lim, S., Qin, S.F., Prieto, P., Wright, D. & Shackleton, J., 2004); comparando el *performance* entre ” novatos” y “expertos” (Kavakli & Gero, 2001; Kavakli & Gero, 2002; Kavakli & Gero, 2003; Rahimian & Ibrahim, 2011); en otras integrando a herramientas tecnológicas (Israel, Wiese, Mateescu, Zöllner & Stark, 2009; Company, Contero, Varley, Aleixos & Naya, 2009; Masry, M., Kang, D. & Lipson, H., 2005), pero se han encontrado pocas evidencias de investigaciones centradas en entender las características y atributos que permiten a ciertas herramientas tecnológicas sean eficientes para soportar la etapa creativa del proceso de diseño de producto. Tal vez la investigación más relacionada con este tema sea el *paper* “*Sketching and creative discovery*” (Verstijnen, Leeuwen, Goldschmidt, Hamel & Hennessey, 1998), el cuál se centró en los procesos mentales en el proceso creativo, y cómo la experiencia en el dibujo y la creatividad individuales influyen en el desempeño de los participantes.

Con base en lo anterior, el problema de investigación se define de la siguiente manera:

Ante el cada vez mayor avance de la tecnología en lo relacionado con dispositivos de entrada y procesamiento (*hardware*), así como de programas computacionales (*software*), que permiten la rápida y fácil representación de formas en 2D y 3D, resulta pertinente y relevante **determinar las características y atributos que permiten que estas herramientas tecnológicas puedan ser eficientes en la etapa creativa del proceso de diseño de producto**. Es decir, identificar y describir las cualidades o propiedades de las herramientas tecnológicas que permiten la rápida representación de las ideas y que, por su capacidad de permitir un alto grado de ambigüedad (entre otras posibilidades), promueven la re-interpretación de lo dibujado, fomentando así la creatividad. Es importante mencionar que, debido al avance vertiginoso de la tecnología en los últimos años, esta temática ha sido poco abordada hasta este momento.

### 1.3 Objetivos de la investigación

Los objetivos de la investigación se presentan a continuación:

#### Objetivo general de la investigación

Determinar las características y atributos que permiten a ciertas herramientas tecnológicas sean eficientes para soportar la etapa creativa del proceso de diseño de producto.

#### Objetivos específicos

1. Identificar los diferentes tipos de representaciones utilizadas en el proceso de diseño de producto, haciendo énfasis en las principales propiedades y características del *sketch*.
2. Describir las diferentes tipos de herramientas tecnológicas utilizadas en el proceso de diseño de producto, en especial las susceptibles de ser utilizadas en la etapa creativa del proceso de diseño de producto.
3. Desarrollar un instrumento para evaluar la eficiencia de herramientas tecnológicas para la elaboración de *sketches* (experimento).

### 1.4 Pregunta de investigación

Debido a la complejidad de la problemática abordada en el presente trabajo, se considerarán 2 niveles de preguntas de investigación: la relacionada con la investigación en términos generales, y las enfocadas al estudio que evaluará la eficiencia de tres herramientas tecnológicas, denominadas específicas, las cuales se plantearán en el Capítulo V: Estudio. A continuación se presenta la pregunta general de investigación:

**¿Qué características y atributos permiten que una herramienta tecnológica sea eficiente en la etapa creativa del proceso de diseño de producto?**



## 1.5 Justificación

Se considera importante y pertinente realizar este trabajo de investigación porque aportará elementos para entender de mejor manera el impacto de la tecnología en el proceso de diseño, en específico en la representación y desarrollo de las primeras ideas (etapa creativa). El propósito principal de esta investigación se centrará en el análisis y determinación de las características y atributos que permiten que una herramienta tecnológica pueda ser de real utilidad en la etapa creativa del proceso de diseño de producto. La motivación para realizar esta investigación proviene de nuevos retos dentro de mi quehacer docente (específicamente en mi materia de proyecto de diseño). Lo anterior dentro del marco del nuevo modelo educativo Tec 21 del Tecnológico de Monterrey, institución en la que laboro desde hace 11 años.

Por otro lado, se piensa que los resultados de esta investigación serán una valiosa contribución a la estructura del conocimiento existente y se prevé que las diferentes aportaciones de este documento puedan ampliar la idea preexistente del papel de la tecnología en el quehacer actual del diseñador de producto. Se espera que los hallazgos de la presente investigación podrán ser de interés y relevancia para desarrolladores de *software* para diseño, para investigadores en el ramo e incluso para aquellos dedicados a la enseñanza del *sketching* y el proceso de diseño.

## 1.6 Viabilidad del estudio

A continuación se presentan los apartados correspondientes a la disponibilidad de recursos y los alcances del estudio.

### 1.6.1 Disponibilidad de recursos

A este respecto, es importante mencionar que el Departamento de Diseño Industrial y el Centro de Medios, del Tecnológico de Monterrey Campus Querétaro, proporcionarán todas las facilidades para realizar de mejor manera la investigación y el experimento (ver Capítulo V: Estudio).

### 1.6.2 Alcances del estudio

El *sketching* a mano alzada sigue siendo una importante herramienta para investigar/entender existentes y potenciales soluciones a problemas de diseño (Laseau, 2004). Por lo tanto, resulta pertinente y relevante realizar una investigación relacionada con la posibilidad de realizar *sketching* con herramientas tecnológicas de uso común por estudiantes y profesionales del diseño. En el estudio se considerará la intervención de diseñadores con un dominio medio y alto en cada uno de los programas computacionales seleccionados. Esto debido a que será interesante descubrir las diferencias derivadas del distinto manejo de los mencionados programas, además de observar cómo el conocimiento a profundidad de cada *software* puede influir en la rapidez y calidad de la representación de *sketches*.

### 1.7 Método del estudio

Dado que, como hemos señalado, la investigación aborda un fenómeno complejo que ha sido poco estudiado, el alcance del estudio a desarrollar será de tipo exploratorio. Esto debido a que, además de la capacidad de las herramientas tecnológicas, intervienen variables que tienen que ver con la actividad mental del diseñador, así como sus habilidades de expresión gráfica y su pericia (*expertise*) en el manejo de los programas relacionados.

Con el fin de analizar la validez del diseño de la investigación y sentar las bases metodológicas para estudios posteriores, se plantea la elaboración de un experimento con enfoque cuantitativo-cualitativo, que permita comparar la rapidez y calidad de reproducción de bocetos personales o *personal sketches* (Evans, 2009), reconocidos como el medio más eficaz para manifestar las primeras ideas.

### 1.8 Resultados y aportaciones obtenidos

El presente trabajo de investigación pretende, en términos generales, exponer las razones por las cuales ciertas herramientas tecnológicas, en específico programas computacionales, pueden ser de verdadera utilidad en la etapa creativa del proceso de diseño de producto. Con respecto al experimento, se descubrieron las capacidades y limitaciones de tres programas computacionales en la elaboración de

*sketches*, encontrando diferencias significativas entre los sujetos denominados novatos y expertos<sup>6</sup>. Lo anterior en lo que se refiere al desempeño, en tiempo y calidad, en la representación de *sketches* en los diferentes programas computacionales elegidos para el mencionado estudio. Al final de este estudio se identificaron los principales atributos que permiten a determinada herramienta tecnológica ser susceptible de ser utilizada en la etapa creativa del proceso de diseño.

## 1.9 Organización del informe

El **Capítulo I**, como ya se expuso, presenta el planteamiento del problema, objetivos y pregunta general de investigación. En el **Capítulo II** se definirá el marco teórico. La explicación a detalle de las RVD se encontrará en el **Capítulo III**. Por su parte, el **Capítulo IV** se enfocará a dar mayor explicación de las herramientas tecnológicas que apoyan el proceso de diseño. El **Capítulo V** contendrá el planteamiento, diseño de instrumento, desarrollo y resultados el estudio. Las observaciones finales y recomendaciones podrán ser consultadas en el **Capítulo VI**. Todas las fuentes de información de tipo bibliográfica, *papers* y de páginas web incluidas en este informe, se encontrarán en el apartado de **Referencias**. Por último, en **Anexos** se podrán encontrar diversos materiales que complementan los contenidos de los capítulos.

---

<sup>6</sup> En el Capítulo V se definen “novato” y “experto” para efectos de esta investigación.

# Capítulo II: Marco teórico

En el presente capítulo se presentará un panorama general de las diferentes formas de representación y herramientas utilizadas a lo largo del proceso de diseño y, en especial, en la etapa creativa. Esto con la intención de comprender, en términos generales, cuál es el rol que desempeña cada una de éstas en la generación, desarrollo y representación de las propuestas de diseño. Para lo anterior es preciso comenzar definiendo al Diseño Industrial, ubicándolo como una de las fases del Proceso de Desarrollo de Productos (PDP). Después de esto se describirán las Representaciones Visuales de Diseño en 2 y 3 dimensiones, así como las principales herramientas tecnológicas, que son utilizadas por los diseñadores a lo largo del proceso de diseño.

## 2.1 Definición de Diseño Industrial

A continuación se presenta la definición de Diseño del ICSID-International Council of Societies of Industrial Design:

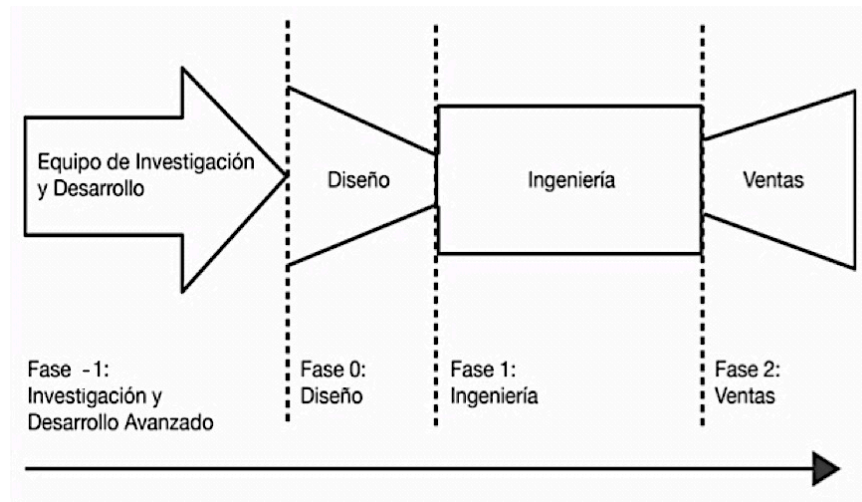
“El diseño es una actividad creativa cuyo objetivo es establecer las cualidades multifacéticas de objetos, procesos, servicios y sus sistemas en ciclos de vida completos. Por lo tanto, el diseño es el factor central de la humanización innovadora de las tecnologías y el factor crucial del intercambio cultural y económico” (ICSID, 2010).

El diseño industrial es una actividad fundamental del ser humano y que le ha proporcionado desde las satisfacciones más elementales hasta los sistemas más complejos (Salinas, 1992).

Por otra parte, es preciso mencionar que el diseño industrial es una actividad que puede ser ubicada dentro del llamado Proceso de Desarrollo de Productos. A continuación se presentará una explicación general de este último.

## 2.2 El proceso de desarrollo de productos

Además de lo expresado en la definición anterior, es labor del diseñador industrial el mejorar el nivel de vida de las personas a través de la creación y desarrollo de productos que resuelven necesidades y funciones específicas. Productos con los cuales interactuamos en la vida diaria y que nos hacen la vida más fácil y placentera: el despertador, la rasuradora, la taza de café, el automóvil, la computadora, el teléfono celular... sólo por mencionar unos cuantos de una lista interminable. Y es precisamente el Proceso de Desarrollo de Productos, la vía por la cual se da “vida” a estos productos de uso cotidiano. En el PDP podemos distinguir cuatro fases: investigación y desarrollo, diseño, ingeniería y ventas (Buxton, 2007), como se muestra en a figura 2.1.

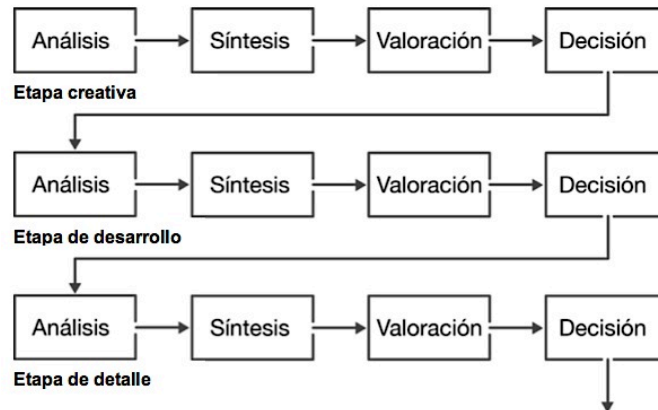


**Figura 2.1** El proceso de desarrollo de productos, basado en Buxton, 2007.

En la fase de investigación y desarrollo se plantean las necesidades y requerimientos de nuevos productos, así como las áreas de oportunidad para la mejora de un producto existente. En la etapa de diseño se gestan y desarrollan las propuestas de diseño (proceso de diseño), mismas que en la fase de ingeniería serán afinadas y fabricadas. Por último, la fase de ventas se encargará de la comercialización del producto terminado. Es importante mencionar que si bien el PDP aparenta un esquema lineal, las fases de ingeniería y ventas podrán dar retroalimentación a la fase de diseño.

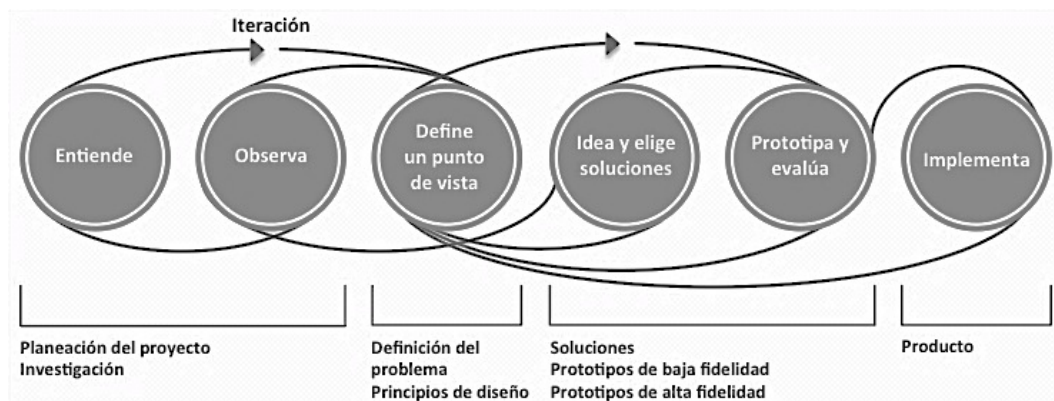
## 2.3 El proceso de diseño

En la fase de diseño, según Markus y Maver (figura 2.2), se pueden distinguir tres etapas principales: creativa, desarrollo y detalle (Lawson, 1997). La etapa creativa consiste en la generación de ideas, las cuales generalmente empiezan a representarse en forma de bocetos o *sketches* (Ohira, 1995; Bilda, Gero & Purcell, 2006). Con estos primeros *sketches* se da inicio a la síntesis formal, término que comprende a todas las acciones encaminadas a la configuración-materialización de las propuestas de diseño y que tienen generalmente como base los siguientes factores: función, expresión, tecnología y comercial (Rodríguez, 2005).



**Figura 2.2** Etapas del proceso de diseño, basado en Markus y Maver (Lawson, 1997, p. 35).

Otra manera de visualizar el proceso de diseño se presenta a continuación en la figura 2.3, basado en *Design Thinking Process* utilizado en el Hasso Plattner Institute of Design en Stanford.



**Figura 2.3** *Design Think Process* de Hasso Plattner Institute of Design de Stanford.

En este último diagrama del proceso de diseño (más dinámico e interactivo que el primero) podemos ubicar los primeros procesos de materialización de las ideas en la etapa 4: Idea y elige soluciones. Es precisamente en esta etapa del proceso de diseño, y en la primera del propuesto por Markus y Maver, en la cual se empieza a definir la apariencia del futuro producto.

Una de las estrategias utilizadas para promover la creatividad en esta etapa es el *brainsketching*, técnica para la generación de ideas a través de la elaboración y re-interpretación de *sketches*. En la figura 2.4 podemos apreciar un ejemplo de *brainsketching*.



**Figura 2.4** Ejemplo de *brainsketching*.

En la medida en que el proceso avanza se revisan los aspectos relacionados con la experiencia de uso y la ergonomía, así como la mejora de la calidad medioambiental (Bürdek, 2007), entre otros. En todo caso, la exploración formal es parte fundamental en este proceso de materialización y configuración de las ideas.

Una vez que la idea evoluciona, el diseñador tiene la posibilidad de utilizar un mayor número de herramientas y representaciones. En la tabla 2.1, realizada con base en las etapas del proceso de diseño de Markus y Maver (Lawson, 1997), podemos distinguir las principales Representaciones Visuales de Diseño (Evans, 2009). También se pueden observar ejemplos de herramientas tecnológicas que se utilizan principalmente para la representación y validación de las propuestas de diseño. El uso de las diferentes RVD y las herramientas tecnológicas son claves para lograr avanzar en el proceso de diseño (Brereton, 2004).

**Tabla 2.1** Representaciones Visuales de Diseño y herramientas tecnológicas en el proceso de diseño.

Etapas del proceso de diseño	Representaciones visuales de diseño	Herramientas tecnológicas	Grado de abstracción	Grado de especificación/ funcionalidad
CREATIVA	Esquemas, mapas mentales, bocetos o <i>sketches</i> , <i>sketches 3D</i> , modelos conceptuales	Programas de dibujo y modelación formal: Illustrator, Freehand, CorelDraw, SketchBook Pro, SketchUp, entre otros	Alto ↓ Parcialmente alto	Nulo ↓ Bajo
DESARROLLO	Bocetos descriptivos, dibujos de presentación, modelos ergonómico, de apariencia y funcionales, prototipos rápidos	Programas de modelación formal-estética: Illustrator, Rhino, Alias, entre otros. Escáneres y equipos de prototipado rápido	Parcialmente alto ↓ Bajo	Bajo ↓ Parcialmente alto
DETALLE	Dibujos de presentación, dibujos técnicos y descriptivos, prototipos rápidos, prototipos, <i>sample</i>	Programas paramétricos: Catia, SolidWorks, SolidEdge, ProE, entre otros. Equipos de prototipado rápido	Bajo ↓ Nulo	Parcialmente alto ↓ Alto

En esta tabla puede observarse que el incremento en los grados de especificación-funcionalidad, de las propuestas de diseño, se presenta de manera progresiva. Esta evolución es llevada a cabo con el apoyo de los diferentes tipos de representación (físicos y virtuales), la mayoría de ellos susceptibles de ser realizados con herramientas tecnológicas. Esta conjunción de herramientas de diseño y comunicación ha incrementado la interacción entre los participantes en el proceso de diseño, propiciando que el proceso deje de ser lineal, para volverse concurrente y simultáneo. A continuación se presentarán de manera general cada uno de los tipos de representación y las herramientas tecnológicas utilizadas en el proceso de diseño de producto.

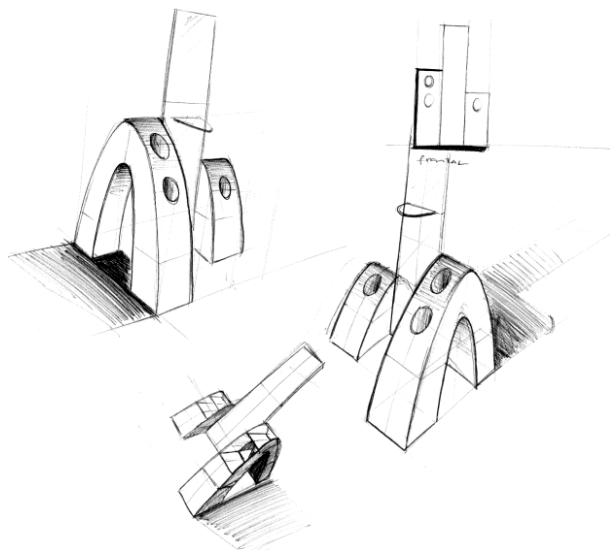


## 2.4 Las Representaciones Visuales de Diseño en 2 dimensiones en el proceso de diseño

Como resultado de una compilación de información relacionada con los términos utilizados para designar a los diferentes medios para la exteorización, materialización y comunicación de las propuestas de diseño, se encontró la taxonomía de Evans, Pei y Campbell (Evans, 2009). Esta taxonomía define a las Representaciones Visuales de Diseño (RVD) en 2 dimensiones como aquellas que se realizan/visualizan sobre un medio plano (como el papel o la pantalla de la computadora). Es decir, el término en 2 dimensiones se refiere al medio en el cual se plasman y visualizan las representaciones, independientemente de si se trata de la representación de un objeto en dos o tres dimensiones (como sería el caso de una vista lateral o una perspectiva respectivamente).

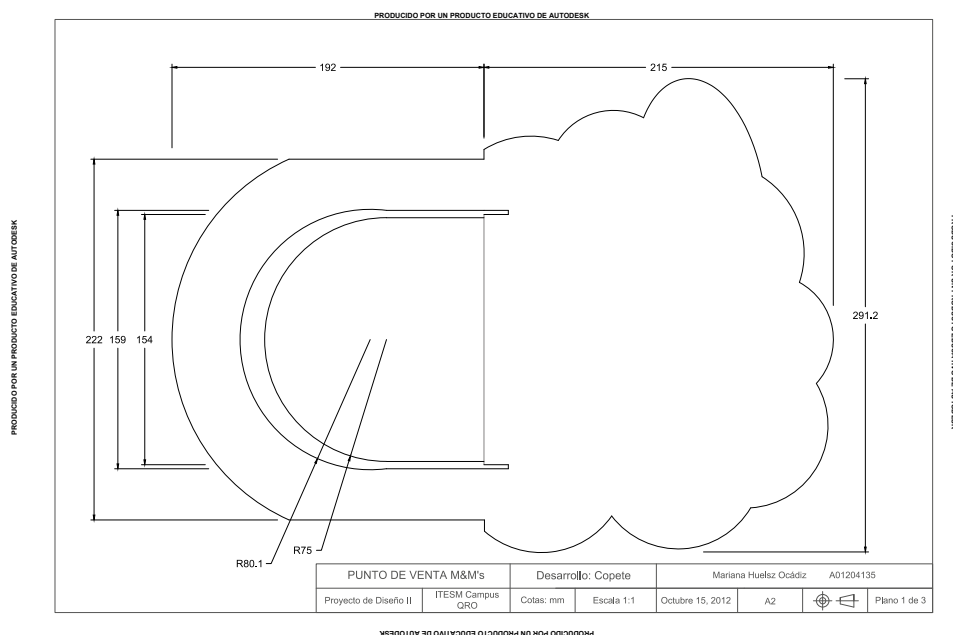
Así, las RVD en 2 dimensiones constituyen el principal medio por el cual se lleva a cabo la exploración y desarrollo de la forma-apariencia de las propuestas de diseño (Purcell & Gero, 1998) y se pueden dividir en dos grandes grupos: *sketches* y dibujos. A continuación se explicarán en términos generales en qué consiste cada una de estas categorías, así como su rol principal en el proceso de diseño:

**Sketches.** Este grupo de representaciones bidimensionales comprende toda la gama de dibujos realizados a mano alzada a lo largo del proceso de diseño. Encabezados por el *idea sketch* o boceto de idea, los *sketches* son elemento clave para la exploración y desarrollo de los conceptos de diseño (ver figura 2.5).



**Figura 2.5** Ejemplos de *sketches*. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez

**Dibujos**<sup>7</sup>. Conformado por dos categorías, dibujos de diseño y dibujos de ingeniería, este importante grupo de representaciones bidimensionales está enfocado principalmente a la comunicación, especificación y producción de la propuesta de diseño. Los dibujos son utilizados, en términos generales, en las etapas de desarrollo, detalle, e incluso en la comercialización. La figura 2.6 nos muestra un ejemplo de dibujo de ingeniería.



**Figura 2.6** Ejemplo de dibujo de ingeniería. Cortesía de Mariana Huelasz Ocádiz.

En el Capítulo III se explicarán más a detalle las características y propiedades de esta primera categoría de representaciones de diseño. Esto nos permitirá entender de mejor manera los requerimientos de uso de los programas computacionales utilizados en la etapa creativa.

<sup>7</sup> Traducción literal de la palabra en inglés *drawings*, la cual se refiere a toda representación bidimensional de objetos con medidas predeterminadas y con el apoyo de instrumentos de dibujo o por medio de un programa de cómputo CAD. En esta categoría se contemplan todas las versiones de planos técnicos.

## 2.5 Las Representaciones Visuales de Diseño en 3 dimensiones en el proceso de diseño

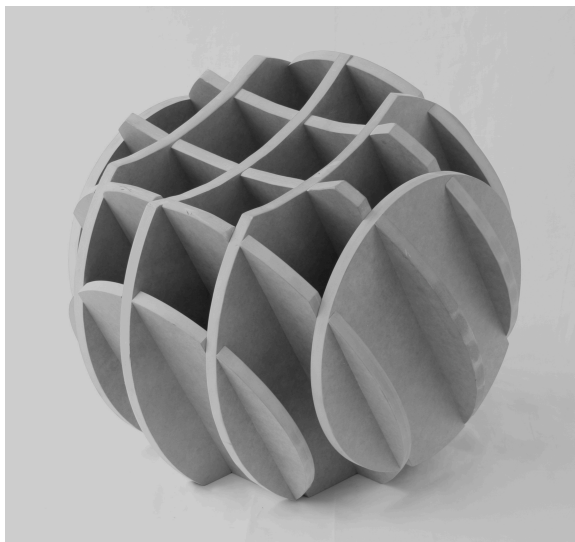
Incorporando a todas las manifestaciones materiales, las Representaciones Visuales de Diseño en 3 dimensiones, también llamadas externas, son utilizadas a lo largo de todo el proceso de diseño de un producto (Brereton, 2004). Las diferentes representaciones tridimensionales realizadas a mano, con el apoyo de maquinaria o mediante el uso de un sistema de prototipado rápido, apoyan de manera importante los procesos de validación de las propuestas en las diferentes etapas del proceso de diseño. Dentro de esta categoría podemos distinguir dos grupos: modelos y prototipos.

**Modelos.** Esta primera categoría de RVD en 3 dimensiones se refiere a representaciones que permiten observar de manera limitada las funciones y especificaciones de la propuesta de diseño. Esta clase de representaciones tridimensionales son utilizadas para la comunicación y demostración de las propuestas a lo largo del proceso de diseño. Modelos conceptuales, ergonómicos, funcionales y de apariencia, son algunos de los modelos más utilizados. Un ejemplo de modelo de apariencia puede observarse en la figura 2.7.



**Figura 2.7** Modelo de apariencia. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.

**Prototipos.** Por su parte, la amplia gama de prototipos de diseño e ingeniería son representaciones tridimensionales que, al contar con funciones y especificaciones “reales”, apoyan los procesos de validación y verificación del desempeño o *performance* de la propuesta final de diseño. La figura 2.8 muestra un ejemplo de prototipo.



**Figura 2.8** Prototipo de “banca-estereo”. Cortesía de Diana Albarrán González.

Los modelos y prototipos son un medio efectivo para la comunicación y demostración de la propuesta de diseño, así como para su validación. Ejemplo de esto es el modelo de apariencia, el cual es por lo general utilizado en sesiones *focus group*<sup>8</sup> para conocer la opinión de los usuarios potenciales hacia las diferentes versiones de un futuro producto.

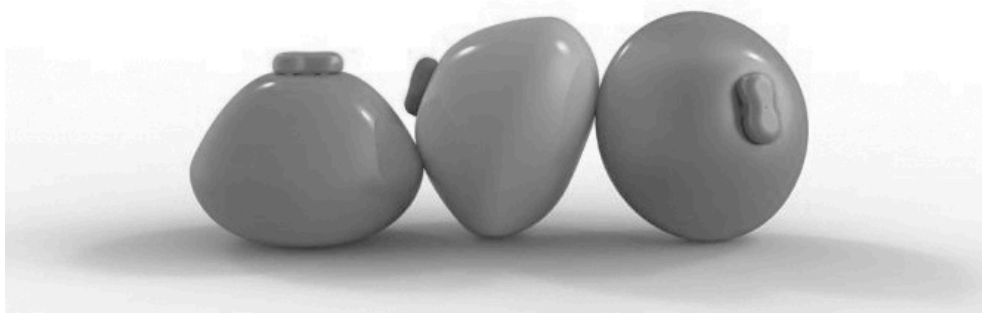
Más adelante en el Capítulo III se darán mayores detalles acerca de la extensa categoría de representaciones tridimensionales y de su importante aportación en el proceso de diseño.

---

<sup>8</sup> Estudio de mercado en donde se presentan diferentes propuestas de producto a sus potenciales usuarios, esto con la intención de recopilar información relevante para realizar eventuales cambios antes de su lanzamiento.

## 2.6 Representaciones virtuales tridimensionales

Si bien las clasificaciones de *sketches* que presenta la taxonomía de Evans, Pei y Campbell serán consideradas en el presente trabajo de investigación, es importante mencionar que las representaciones virtuales tridimensionales no están consideradas en la mencionada taxonomía. Estas representaciones, realizadas por medio de un *software* de diseño, nos permiten visualizar la totalidad de la geometría de la propuesta de diseño y de sus componentes. La siguiente figura nos presenta un ejemplo de representación virtual tridimensional:



**Figura 2.9** Representación virtual tridimensional de propuesta de administrador de medicamentos para niños.

Cortesía de Alejandra Muñoz, María José Natera y Lucía Valdovinos.

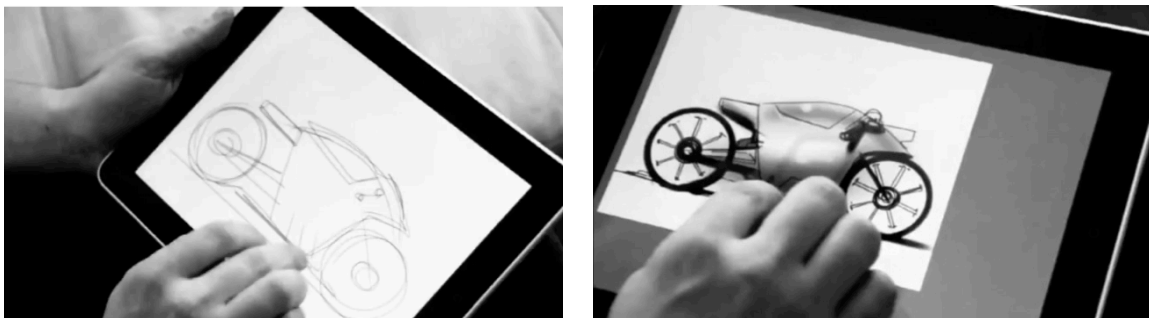
Las representaciones virtuales tridimensionales pueden ser realizadas en programas computacionales de superficies y paramétricos,<sup>9</sup> y se utilizan para la comunicación-verificación de la propuesta de diseño. También pueden ser utilizadas para la posterior elaboración de un prototipo rápido, siendo el formato .stl uno de los más recurridos. Algunos de los programas de cómputo utilizados para la elaboración de este tipo de representaciones permiten la manipulación en tiempo real de los objetos, como es el caso de SketchUp. Este tipo de representaciones generalmente son requeridas en las etapas de desarrollo y detalle, y requieren de información precisa de medidas y espesores.

---

<sup>9</sup> En el Capítulo IV se explicarán cada una de estas clasificaciones de *software* de diseño.

## 2.7 Herramientas tecnológicas en el proceso de diseño

Comprendiendo a todos los programas computacionales y equipos CAD-CAM<sup>10</sup>, los sistemas de prototipado rápido y otros dispositivos tecnológicos, las herramientas tecnológicas son en la actualidad parte fundamental del proceso de diseño. Por su parte, el cada vez mayor número de herramientas tecnológicas y programas computacionales están revolucionando la forma de dibujar y de diseñar. Ahora es posible, por mencionar sólo un ejemplo, realizar bocetos en dispositivos móviles como la tableta iPad y el teléfono celular iPhone, esto mediante la aplicación de SketchBook Pro de Autodesk. En las figuras 2.10 y 2.11 podemos observar un dispositivo móvil con la aplicación de SketchBook Pro.



**Figuras 2.10 y 2.11** Aplicación SketchBook Pro en dispositivo móvil iPad, tomado de video en You Tube “Autodesk SketchBook Pro for iPad”.

Las herramientas tecnológicas, para efecto de esta tesis, las podemos clasificar en *software* y *hardware*.

**Software:** Este término se refiere a todos los programas de cómputo que apoyan la labor del diseñador, por ejemplo los CAD, y los diferentes *drivers* o controladores de dispositivos específicos, como es el caso de un equipo de prototipado rápido, sólo por mencionar un ejemplo.

**Hardware:** Esta clasificación comprende a los dispositivos de entrada, los equipos y dispositivos de procesamiento y los dispositivos de salida (Pipes, 2008). Estos últimos pueden clasificarse en dos o tres dimensiones.

---

<sup>10</sup> *Computer-Aided Design and Manufacture* o Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora.

Los dispositivos de entrada son los mecanismos por los cuales el diseñador puede ingresar información, instrucciones y datos al dispositivo de procesamiento. Ejemplos de lo anterior son el *mouse*, el *scanner* y la tableta Wacom.

Los dispositivos y equipos de procesamiento, por su parte, comprenden a todas las diferentes versiones de computadoras y equipos tecnológicos, ya sean fijos como una computadora personal, o móviles como iPad, iPhone, Galaxy tab, entre otros.

Por último, los dispositivos de salida son aquellos que permiten obtener los resultados del trabajo con las dos categorías antes mencionadas. La impresora láser, el plóter, un centro de maquinado y un equipo de prototipado rápido, son ejemplos de dispositivos de salida. Un ejemplo de equipo de prototipado rápido se muestra en la figura 2.12.



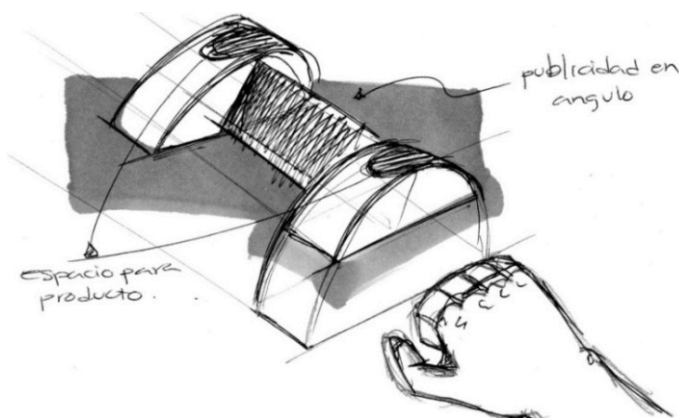
**Figura 2.12** Ejemplo de equipo de prototipado rápido: Impresora de sólidos ZCorporation 310.

Cortesía del DICI-ITESM Campus Querétaro.

En el Capítulo IV se explicarán a detalle cada uno de los diferentes tipos de herramientas tecnológicas mencionados, haciendo énfasis en sus respectivos roles dentro del proceso de diseño.

## 2.8 Las Representaciones Visuales de Diseño y las herramientas tecnológicas en la etapa creativa

Debido a que el libre flujo de ideas es importante para hacer el mejor uso de la creatividad del diseñador, los bocetos a mano alzada son generalmente elegidos en la etapa creativa por ser el método que provee la mayor velocidad y flexibilidad (Ohira, 1995). Por lo anterior, el bocetado o *sketching* se reconoce como elemento clave para la generación y desarrollo de la forma de un producto. Un ejemplo de sketch se muestra en la figura 2.13.



**Figura 2.13** Ejemplo de *sketch*. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.

Además de ser una herramienta efectiva para la representación y comunicación de las ideas (Hannah, 2004), el *sketching* también se reconoce como fuente de creatividad en sí mismo. Procesos transformacionales, interpretativos y de reagrupación (Prats & Garner, 2006), pueden ser generados a partir de un mismo *sketch*. Esquemas, mapas mentales y modelos conceptuales (Gebhardt, 2003) complementan y apoyan al *sketching* en la generación y evaluación de las primeras ideas/propuestas de diseño (Bilda & Gero, 2005).

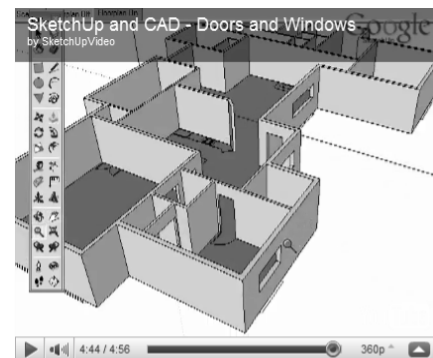
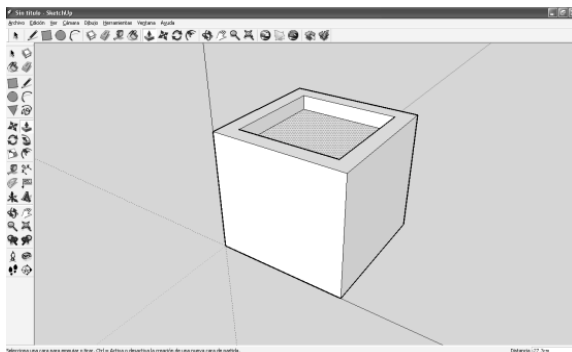
Por otra parte, la utilización de herramientas tecnológicas en la etapa creativa del proceso de diseño es, en términos generales, escasa. Lo anterior pudiera explicarse, entre otras causas, a que no se reconoce el verdadero potencial de algunos programas computacionales. Sumado a lo anterior, los programas CAD están, en términos generales, enfocados en la representación del producto, por lo que requieren de información precisa de dimensiones de la propuesta de éste.



También es importante decir que muchos de los programas computacionales desarrollados en los últimos años para la etapa creativa no son del todo intuitivos, accesibles, ni de fácil manejo (Pipes, 2008). Afortunadamente existen, aunque pocas, herramientas tecnológicas que realmente pueden apoyar los procesos de síntesis y exploración formal. Entre ellas podemos mencionar las siguientes: SketchUp (<http://sketchup.google.com/intl/es/>) y SketchBook Pro (<http://usa.autodesk.com/>).

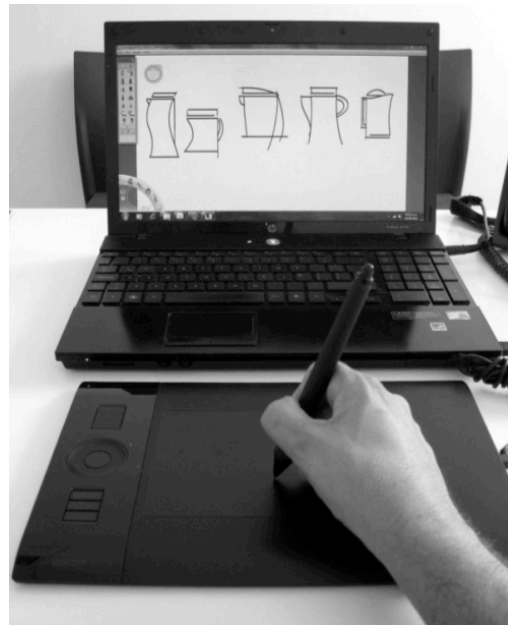
**SketchUp.** En principio pensado para la Arquitectura, SketchUp es un programa de cómputo que permite crear de manera fácil y rápida elementos geométricos y arquitectónicos. La incorporación de escala humana, sombras, texturas y acabados, entre otros, es posible con esta herramienta. También permite construir elementos sin la necesidad de especificar dimensiones, a diferencia de los programas CAD convencionales, además de que estas construcciones-modificaciones son en “tiempo real”. La condición más importante de esta herramienta tecnológica es que sólo es posible construir y modificar elementos a partir de las diferentes herramientas de dibujo y transformación disponibles. El diseñador se encuentra limitado en cuanto a posibilidades de representación bi-tridimensionales, pues no existe la posibilidad del libre trazo.

SketchUp es una herramienta muy interesante que puede apoyar en gran medida la etapa creativa del diseñador de interiores y arquitectos. De hecho, esta herramienta tecnológica es utilizada por estudiantes de Arquitectura en el Tecnológico de Monterrey Campus Querétaro como apoyo eficaz a lo largo de todo el proceso de diseño. Las figuras 2.14 y 2.15 presentan imágenes del programa computacional SketchUp.



**Figuras 2.14 y 2.15** Intefaz e imagen de tutorial del programa computacional SketchUp.

**SketchBook Pro.** Por su parte, SketchBook Pro es un programa computacional más afín a diseñadores industriales y de producto. Este *software* simula la interface “real” del *sketching*, apoyándose en una tableta digitalizadora Wacom, permitiendo que los trazos realizados se reflejen en tiempo real en la pantalla de la computadora (ver figura 2.16). Cuenta con versiones, como ya se ha mencionado, para dispositivos móviles, en donde se dibuja con los dedos directamente en la pantalla y sin la necesidad de un aditamento extra (ver figuras 2.10 y 2.11). Otra ventaja es que estos dibujos pueden enviarse vía correo electrónico o por SMS<sup>11</sup> a otros diseñadores o al cliente mismo. Este programa cuenta con diferentes tipos de utensilios de dibujo e incluso admite la escritura, lo que permite obtener una gran variedad de *sketches* para diferentes usos y fines.



**Figura 2.16** Uso de tableta digitalizadora en programa computacional SketchBook Pro.

El papel de las herramientas tecnológicas, como los programas CAD y CAD-CAM, es de gran importancia, sobre todo en la etapa final del proceso de diseño y la planeación de la manufactura (fase de ingeniería). Sin embargo, las últimas aplicaciones de *software*, como el SketchBook Pro en dispositivos móviles, se presentan ante el diseñador como una herramienta más para la creación y desarrollo de sus ideas en las etapas tempranas de la síntesis formal. Esta, y otras herramientas tecnológicas y computacionales, no son de ninguna manera sustitutas del bocetado a mano. Sólo se presentan como una

---

<sup>11</sup> *Short Message Service* o servicio de mensaje corto utilizado en la telefonía celular.

herramienta de trabajo complementaria, la cual se debe aprender a usar (y entender), de igual manera como sucede con el dibujo a mano alzada.

Como se mencionó anteriormente, en el Capítulo IV se darán mayores detalles con respecto a las características y propiedades de las herramientas tecnológicas utilizadas en el proceso de diseño, en especial aquellas que pueden utilizarse en la etapa creativa.

En el siguiente capítulo se presentarán a detalle las Representaciones Visuales de Diseño en 2 y 3 dimensiones. Reconocer las principales características y funciones de cada una de ellas, nos permitirá comprender de mejor manera la aplicabilidad de las nuevas tecnologías en el proceso de diseño.

# Capítulo III: Representaciones Visuales de Diseño

La intención de este capítulo es presentar y explicar a detalle las diferentes categorías de las Representaciones Visuales de Diseño en 2 y 3 dimensiones. Lo anterior reviste de gran importancia, debido a que nos permitirá entender de qué manera soportan el proceso de diseño, sobre todo, en los procesos de síntesis y evaluación (ver página 17). Se comprenderá cuál es el rol específico de cada una de ellas y sus sub-categorías, haciendo especial énfasis en el *sketch*. Se puede afirmar que las Representaciones Visuales de Diseño en 2 y 3 dimensiones son la manifestación, material o virtual, del proceso de diseño y, entre otras funciones, permiten al diseñador exteriorizar pensamientos y clarificar las propuestas de diseño; ser un medio de persuasión que vende las ideas a los clientes; un método para comunicar el diseño de una manera inequívoca para la fabricación, montaje y comercialización del producto (Pipes, 1989).

## 3.1 Representaciones Visuales de Diseño en 2 dimensiones

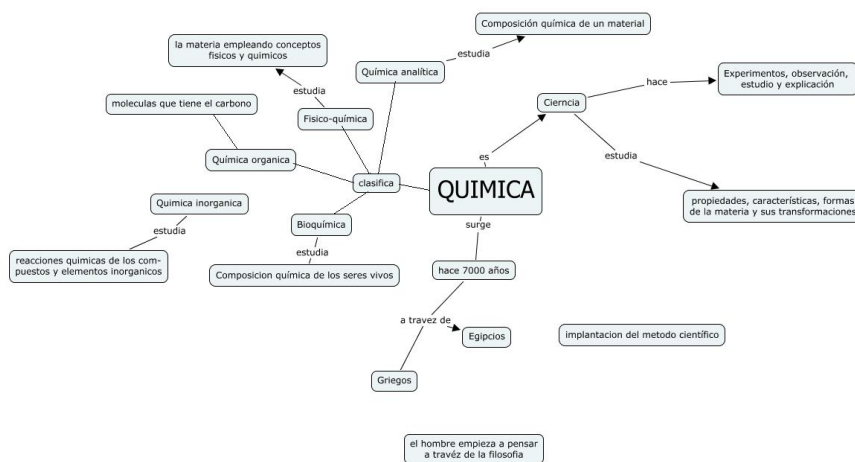
Utilizadas para la exploración formal y la configuración de las propuestas, las RVD en 2 dimensiones constituyen, tal como ya se ha mencionado, el eje del proceso de diseño (Lawson, 1997). Conformadas por *sketches* y dibujos, las representaciones bidimensionales pueden ser generadas por herramientas tecnológicas o por medios manuales. A continuación se detallan las categorías de las representaciones bidimensionales.

### 3.1.1 Representaciones abstractas

Si bien las representaciones abstractas no se consideran parte de las Representaciones Visuales de Diseño en 2 dimensiones, es importante mencionar que se utilizan para poner en orden las ideas y como apoyo para definir el problema de diseño. Realizadas a mano o por medio de un programa computacional, los mapas mentales (ver figura 3.1) y conceptuales (ver figura 3.2) son dos de las principales representaciones abstractas con las que cuenta el diseñador. Los primeros procesos de síntesis de la información en un problema de diseño, por mencionar un ejemplo, son usualmente llevados a cabo a

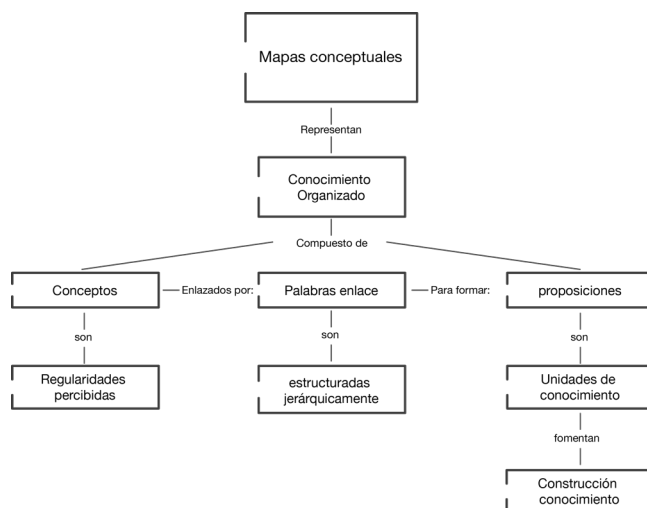
través de mapas mentales. El alto grado de ambigüedad de estas representaciones estimula la búsqueda de las primeras soluciones. Estos primeros esbozos, llamados principios de solución (Aguirre, M., 2004), presentan “guías” para la exploración conceptual, formal, funcionalidad, entre otras.

Por su parte, el mapa mental es un diagrama que reúne únicamente los puntos importantes de un tema, indica la relación existente entre ellos y no cuenta una estructura u orden preestablecido (Buzan, 1996). Las figuras 3.1 y 3.2 nos muestran un ejemplo de mapa mental y conceptual respectivamente.



**Figura 3.1.** Mapa mental de Química. Referencia: tricalzeto.wordpress.com.

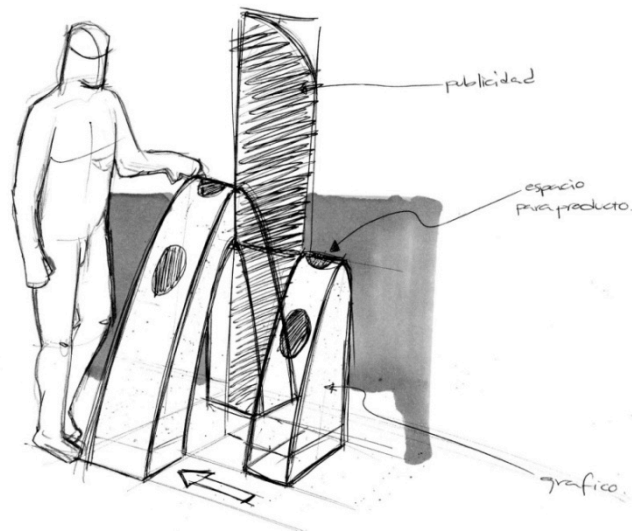
Por otro lado, el mapa conceptual se estructura de manera jerárquica, partiendo del o los conceptos iniciales hacia los particulares, con conectores específicos o preposiciones (Buzan 1996).



**Figura 3.2** Ejemplo de mapa conceptual, basado en “La creación de mapas conceptuales en una presentación”.

### 3.1.2 Sketches

Como también se ha mencionado, los bocetos o *sketches* son el principal medio de representación y comunicación de las ideas en la etapa creativa (Ohira, 1995). A la acción de realizar *sketches* se le denomina *sketching*. Esta actividad provee al diseñador de dibujos a mano alzada que ayudan a la estructuración y entendimiento de un problema de diseño, así como a la generación y exploración de posibles soluciones, funciones o formas (Olofsson, 2007). Los *sketches* pueden representar vistas ortogonales en 2 dimensiones de un objeto (como una vista frontal) o en 3 dimensiones (por ejemplo una perspectiva). Rapidez, flexibilidad y ambigüedad son algunos de los principales atributos de los *sketches*. La siguiente figura 3.3 muestra un ejemplo de *sketch* en perspectiva.



**Figura 3.3** Ejemplo de *sketch*. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.

### 3.1.3 Dibujos

A diferencia de los *sketches*, los dibujos son representaciones estructuradas para formalizar y verificar aspectos de la propuesta de diseño. Estas representaciones bidimensionales son realizadas con el apoyo de instrumentos como escuadras y reglas o por medio de un programa computarizado CAD. Podemos decir que los dibujos son ejecutados por medios mecánicos o mediante un *software* especializado y que los *sketches* son realizados a mano. Los dibujos pueden a su vez dividirse en dibujos de diseño y dibujos de ingeniería (como se puede apreciar en la tabla 3.1). La figura 3.4 , por su parte, muestra un ejemplo de dibujo de presentación.



**Figura 3.4** Ejemplo de dibujo de presentación. Cortesía de Paulina Hernández Santamaría.

### 3.1.4 Clasificación de los *sketches* y dibujos

Los *sketches* y dibujos que se utilizan durante el proceso de diseño constituyen una familia numerosa, siendo el *idea sketch* o boceto de idea, el que ocupa el primer lugar en el tiempo (Evans, 2009), siendo elementos fundamentales del proceso de diseño que “guían el desarrollo de una idea desde la fase conceptual a la fase de propuesta de una realidad materializada” (Ching, 1999, p. 2). En la tabla 3.1 se pueden observar las diferentes categorías de las Representaciones Visuales de Diseño en 2 Dimensiones.

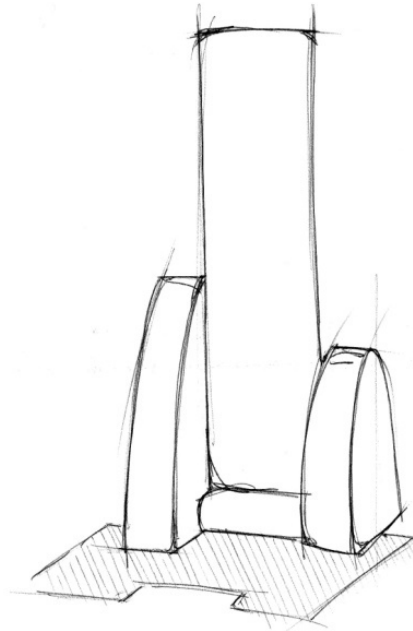
**Tabla 3.1** Representaciones Visuales de Diseño en 2 dimensiones, basado en Evans, 2009.

Representaciones Visuales de Diseño en 2D			
SKETCHES		DIBUJOS	
Subgrupo	Representaciones	Subgrupo	Representaciones
Sketches personales	Idea sketch	Dibujos de Diseño Industrial	Dibujo de concepto
	Study sketch		Dibujo de presentación
	Referential sketch		Scenario and Story board
	Memory sketch		Diagrama
Sketches compartidos	Coded sketch	Dibujos de Diseño Ingenieril	Single view drawing
	Information sketch		Multi view drawing
Sketches persuasivos	Renderings		General arrangement drawing
	Inspiration sketch		Dibujo técnico
Sketches descriptivos	Prescriptive sketch		Dibujo descriptivo

### 3.1.4.1 Clasificación de *Sketches*

Según el fin con el que se elaboran los *sketches* durante el proceso de diseño, podemos distinguir las siguientes clasificaciones:

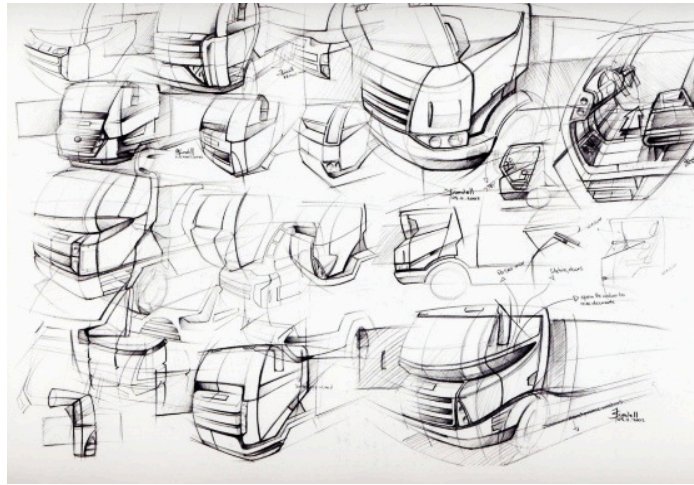
**Idea Sketch:** El *idea sketch*, o boceto de idea, es el medio de representación más utilizado en la etapa creativa. Este peculiar tipo de dibujo permite representar las ideas rápidamente, ya sea en 2 dimensiones (2D) mediante vistas ortogonales, o en 3 dimensiones (3D) mediante una vista isométrica o apoyándose en algún tipo de perspectiva. Ya que este tipo de dibujo es el que nos ocupa, más adelante en este capítulo se profundizará en las características y funciones del también llamado *rough sketch* o bosquejo. En la figura 3.5 se puede observar un ejemplo de *idea sketch*.



**Figura 3.5** Ejemplo de *idea sketch*. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.

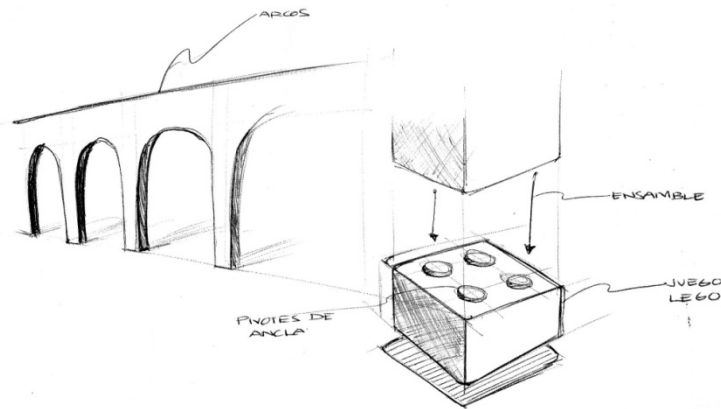
**Study sketch:** También llamado *investigative sketch* o *explorative sketch* (Olofsson, 2007), el *study sketch*, o boceto de estudio, es el medio de representación utilizado para investigar la apariencia e impacto visual de las ideas (ver figura 3.6). Los aspectos de proporción geométrica, configuración, escala, entre otros, son revisados y desarrollados a través de esta categoría de *sketches*.





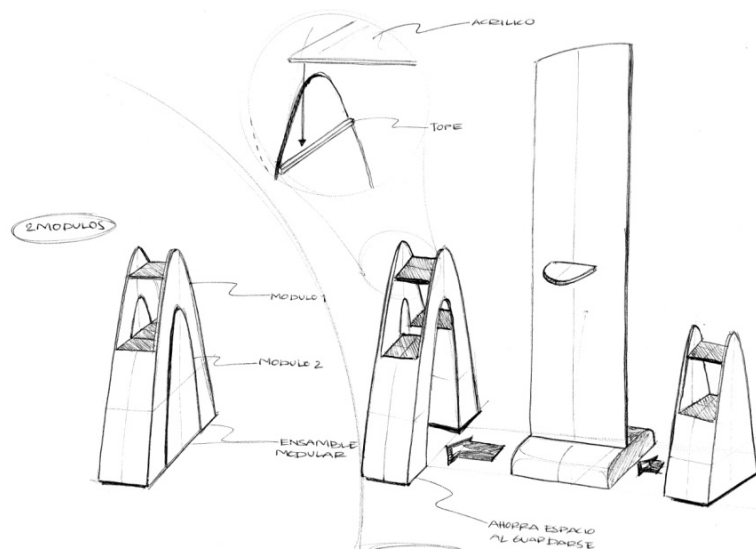
**Figura 3.6** Ejemplo de *study sketches* (Olofsson, 2007).

**Referential sketch:** Este tipo de boceto es empleado para “grabar y absorber” ideas de otros diseños o del entorno que rodea al diseñador (Evans, 2009, Lawson, 1997). El *referential sketch*, o boceto de referencia, generalmente es acompañado de breves anotaciones relacionadas con algún aspecto del objeto a referenciar: Forma, uso-función, material, proceso de fabricación y ensamble, entre otros. La figura 3.7 muestra un ejemplo de *referential sketch*.



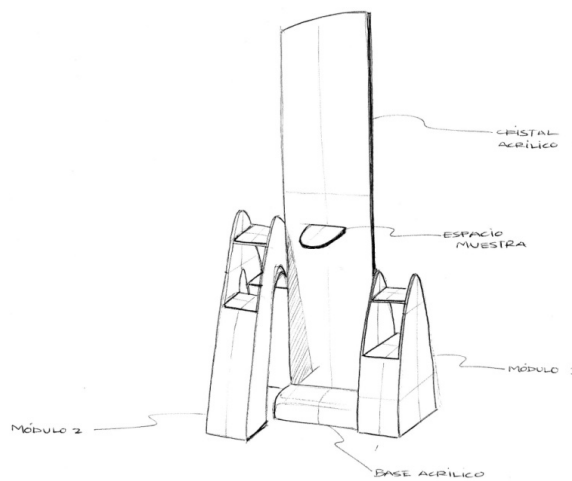
**Figura 3.7** Ejemplo de *referential sketch*. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.

**Memory sketch:** El *memory sketch*, o boceto de recordatorio, es comúnmente utilizado para capturar pensamientos (en la mayoría de los casos para uso exclusivo del diseñador). Hechos para grabar ideas, los *memory sketches* (ver ejemplo en la figura 3.8) son acompañados de descripciones escritas. Estos bocetos suelen ser un poco más elaborados y con mayor grado de detalle que los *idea sketches* y generalmente presentan al objeto o componente en perspectiva (Buxton, 2007).



**Figura 3.8** Ejemplo de *memory sketch*. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.

**Explanatory sketch:** También llamado *information sketch* (Evans 2009), el *explanatory sketch*, o boceto explicativo, es utilizado para explicar la función, estructura y forma de una propuesta de diseño. Utilizado comúnmente para evaluar las propuestas, el *explanatory sketch* se enfoca en la explicación (apoyándose en textos). A continuación se puede apreciar un ejemplo de esta categoría de *sketch*.



**Figura 3.9** Ejemplo de *explanatory sketch*. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.

**Coded sketch:** El *coded sketch* es realizado para informar acerca de un principio o un esquema (Evans, 2009) y también puede estar acompañado de breves anotaciones.

**Persuasive sketch:** Este tipo de bocetos es realizado a mano y en ocasiones retocado por computadora. Más allá de representar un producto, el *persuasive sketch*, o boceto de presentación, (ver figuras 3.10 y 3.11) tiene la intención de vender el concepto o propuesta de diseño (Olofsson, 2007). Evans propone que esta categoría se divida a su vez en *renderings* e *inspiration sketch*.

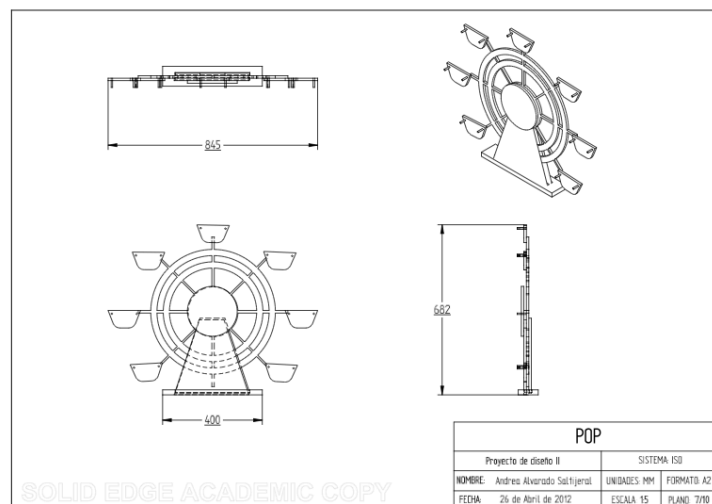


**Figuras 3.10 y 3.11** Ejemplos de *persuasive sketches*. Cortesía de David García Rodríguez.

**Prescriptive sketch:** Esta categoría es la última de los *sketches* y su principal función es la de comunicar las decisiones de diseño, así como información referente a dimensiones, materiales y acabados.

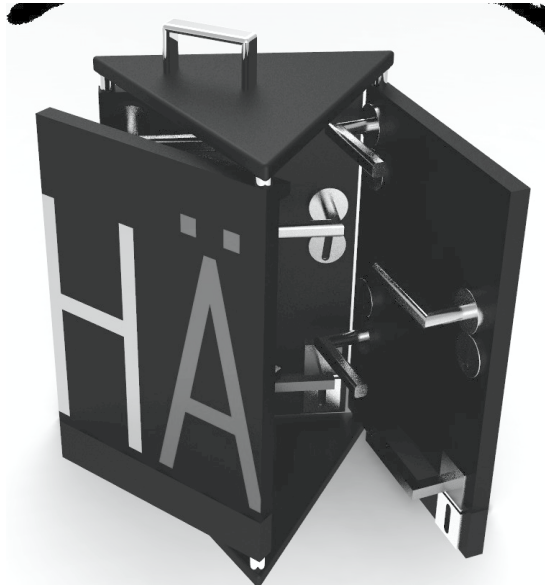
### 3.1.4.2 Clasificación de dibujos

**Dibujo de concepto:** Considerada como la primera clasificación de los dibujos de diseño, el dibujo de concepto muestra la propuesta de diseño a color mediante vistas ortogonales y líneas precisas. (Evans, 2009). La figura 3.12 muestra un dibujo de concepto realizado por computadora.



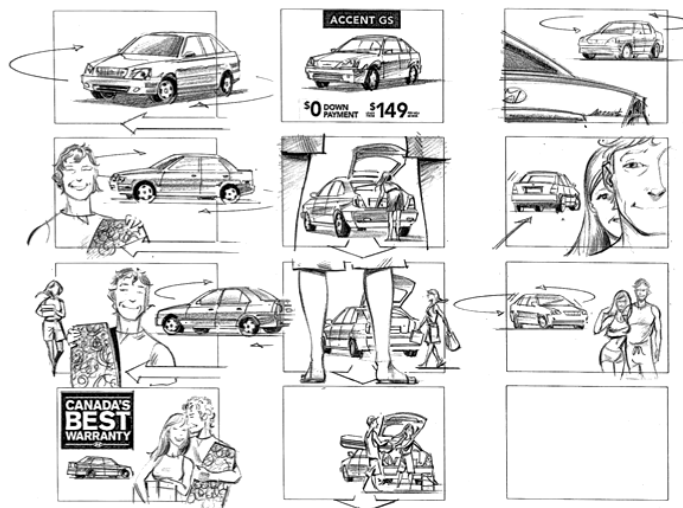
**Figura 3.12** Dibujo de concepto realizado por computadora. Cortesía de Andrea Alvarado Saltijeral.

**Dibujo de presentación:** Realizados con la intención de presentar una propuesta de diseño a un cliente o jefe (Buxton, 2007). Estos dibujos son elaborados por medio de un *software* modelador en 3D. Un ejemplo de dibujo de presentación puede observarse en la figura 3.13.



**Figura 3.13** Ejemplo de dibujo de presentación. Cortesía de Lorena Mendoza y Andrea Magaña.

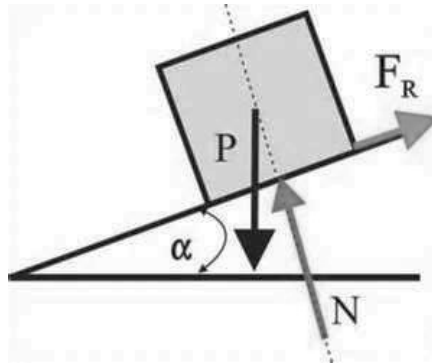
**Scenario and storyboard:** Esta categoría de dibujos de diseño sugieren la interacción entre el usuario-producto y muestra su uso dentro de un contexto de otros artefactos, personas y relaciones (Evans, 2009). Un ejemplo de *storyboard*, o dibujo ambientado, se muestra en la figura 3.14.



**Figura 3.14** Ejemplo de *story board*.

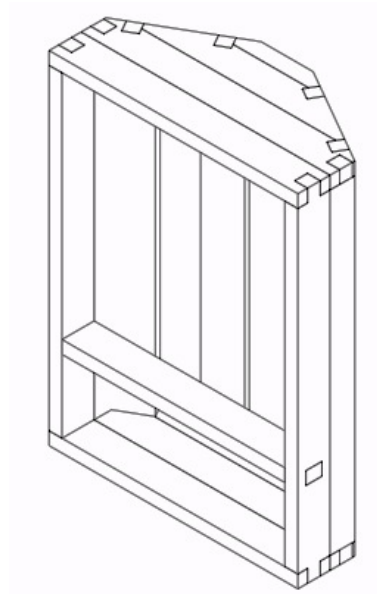
Por otra parte, los dibujos de ingeniería (Evans, 2009) se presentan a continuación:

**Diagrama:** El diagrama muestra un principio de una idea o representa las relaciones entre objetos, los cuales son representados mediante elementos geométricos simples y anotaciones (ver figura 3.15).



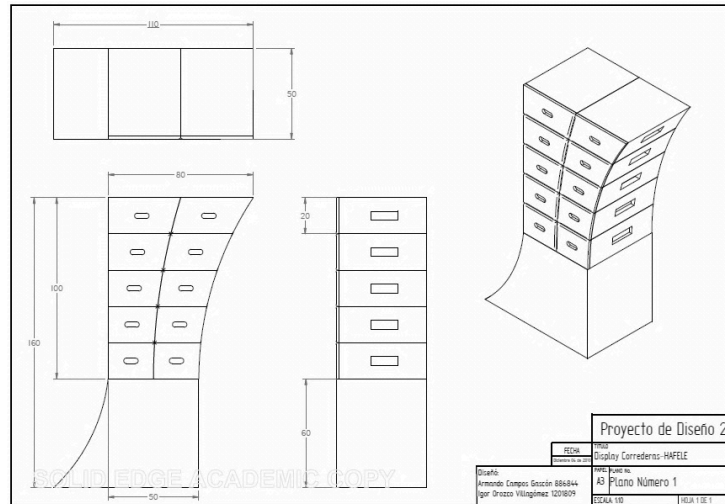
**Figura 3.15** Diagrama de un plano inclinado.

**Single view drawing:** El *single view drawing* o dibujo de vista única es la representación axonométrica del objeto y cuenta con información mínima de detalles estéticos. En la figura 3.16 podemos ver un ejemplo de esta categoría de dibujos.



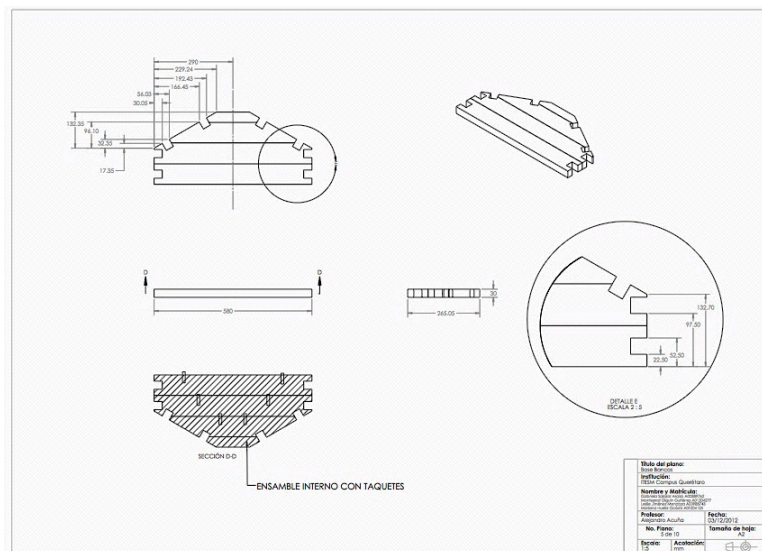
**Figura 3.16** Ejemplo de dibujo de vista única. Cortesía de Mariana Huelsz Ocádiz.

**Multiple view drawing:** Este tipo de dibujo emplea múltiples proyecciones: frontal, superior, lateral, etc. La figura 3.17 muestra un dibujo de múltiples vistas.

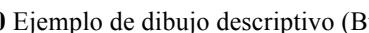


**Figura 3.17** Ejemplo de dibujo de múltiples vistas. Cortesía de Armando Campos Gascón e Igor Orozco Villagómez.

**General arrangement drawing:** El *general arrangement drawing*, o dibujo de disposición general, representa el objeto a detalle pero omite detalles internos. Son utilizados para la producción de modelos de apariencia con detalles limitados (ver figura 3.18).



**Figura 3.18** Ejemplo de *general arrangement drawing*. Cortesía de Mariana Huelsz Ocádiz.



### 3.1.5 Atributos del *sketch*

Como se mencionó al inicio de este capítulo, es importante entender las razones por las cuales el *sketch* es una poderosa herramienta para la etapa creativa. Más allá de describir una idea rápida y eficientemente (Hannah, 2004), los atributos más relevantes de los *sketches* son los siguientes (Buxton 2007):

**Rápidos:** Un *sketch* es rápido de hacer, o al menos da esa impresión.

**Oportunos:** Un *sketch* puede ser hecho cuando se necesita.

**Baratos:** Un *sketch* es barato. El costo no inhibe la posibilidad de explorar un concepto, especialmente en etapas tempranas del proceso de diseño.

**Desechables:** Si tú no lo puedes desechar cuando este se realiza, muy probablemente no sea un *sketch*. La inversión en el *sketch* es en el concepto, no en la ejecución. Esto no significa que no tenga valor o que siempre se puedan desechar. Al contrario, su valor a la larga depende de este atributo.

**Abundantes:** Los *sketches* no existen en solitario. Su significado o relevancia es generalmente en el contexto de una colección o serie, no como un dibujo aislado.

**Vocabulario claro:** El estilo en el cual un *sketch* es realizado sigue ciertas reglas que lo distinguen de otros tipos de dibujo. El estilo, o forma, señala que es un *sketch*.

**Gestos distintivos:** Existe una fluidez en los *sketches* que le dan un sentido de libertad. No son estrictos ni precisos como lo es, por ejemplo, un dibujo de ingeniería.

**Mínimo detalle:** Incluyen sólo lo requerido para dibujar el propósito deliberado o el concepto.

**Apropiado grado de detalle:** Debido a su resolución o estilo, un *sketch* no debe sugerir un nivel de refinamiento más allá del proyecto representándose.

**Sugiere y explora más que confirma:** Los *sketches* “no dicen”, ellos “sugieren”. Su valor no reside en el *sketch* en sí mismo, pero si en su habilidad de proveer un catalizador para la generación de nuevas propuestas.



**Ambigüedad:** Los *sketches* son intencionalmente ambiguos y mucho de su valor se deriva de su capacidad de ser interpretados de diferentes maneras. Nuevas variaciones pueden ser vistos dentro de ellos, aún por la persona que los dibujó.

### 3.1.6 Funciones y potencialidad del *sketch*

Las funciones más reconocidas del *sketch* son representar y comunicar ideas (Hannah, 2004), así como el registro del progreso de un diseño (Fish, 2004). Pero su función primaria, según Fish, es dar soporte al cerebro del diseñador para que pueda imaginar posibles objetos. Este autor considera que la principal función del *sketch* es la de amplificar el pensamiento visual y la invención, lo cual es posible cuando el diseñador tiene una conversación con el dibujo (Buxton, 2007, Fish, 2004). Así, “el acto de dibujar estimula otro pensamiento, y este requiere de otro dibujo, y así sucesivamente” (Pipes, 2008, p. 12).

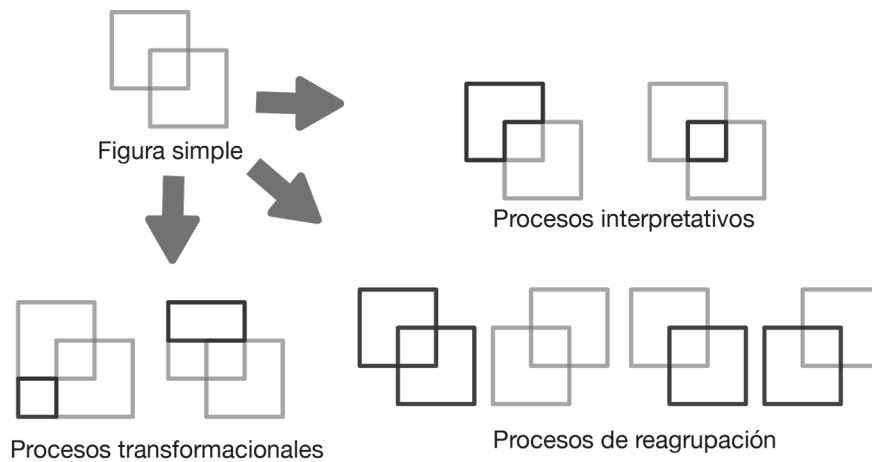
Cuando el pensamiento del diseñador dirige al dibujo, de igual manera el dibujo influye en el pensamiento (Ching, 1999). Esta “comunicación” entre la mente del diseñador y el dibujo da como resultado una mayor generación de ideas, estimulando de manera importante la creatividad del diseñador (ver figura 1.1).

Por otro lado, y como consecuencia de este “diálogo” con los *sketches*, se pueden desarrollar elementos formales basados en procesos interpretativos, transformacionales y de reagrupación (Prats & Garner, 2006; Prats, M., Lim, S., Jowers, I., Garner, S. & Chase, S., 2009):

Los procesos interpretativos son aquellos mediante los cuales el diseñador puede identificar formas contenidas dentro de las formas o geometrías de dibujos precedentes. Estas nuevas formas de alguna manera “emergen” de un dibujo previo.

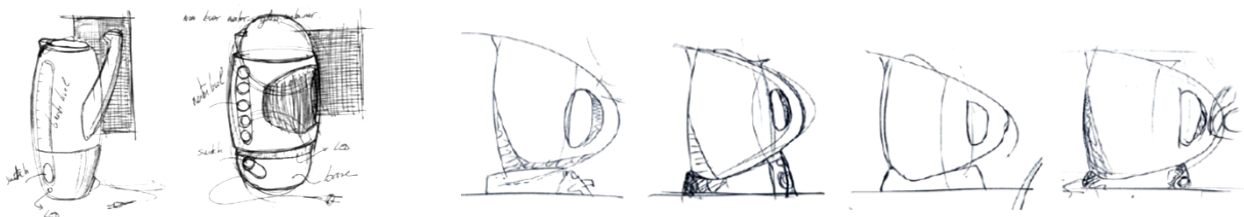
Los procesos transformacionales, por su parte, son aquellos que permiten encontrar nuevas formas a partir de las relaciones entre componentes del objeto previamente dibujado, que incluso pueden identificarse “externamente” con respecto al dibujo de referencia. Podemos decir que estas nuevas formas se obtienen como resultado de visualizar una retícula en un dibujo previo.

Por último, los procesos de reagrupación permiten encontrar nuevas formas como resultado de nuevas relaciones entre objetos similares (y sus componentes). La figura 2.21 muestra ejemplos de procesos interpretativos, transformacionales y de reagrupación.



**Figura 3.21** Procesos interpretativos, transformacionales y de reagrupación, basado en Prats & Garner, 2006.

Como resultado de procesos interpretativos, transformacionales y de reagrupación, derivados del *sketching*, el diseñador puede obtener nuevas soluciones formales que pueden clasificarse en transformaciones laterales y verticales (Goel, 1995). En las figuras 3.22 y 3.23 se pueden observar las mencionadas transformaciones.



**Figuras 3.22 y 3.23** Transformaciones laterales y verticales (Prats & Garner, 2006).

Las transformaciones laterales, según Vinod Goel (Goel, 1995), pueden definirse como la obtención de una nueva propuesta de diseño, significativamente diferente de su antecesora. Las transformaciones verticales son basadas en una propuesta inicial y se reducen básicamente a modificaciones de proporción y/o definición de detalles.

Con base en lo anterior podemos decir que el *sketching* es una poderosa herramienta para la materialización de las ideas en la etapa inicial del proceso de diseño. Pero mucha de la efectividad del *sketching* depende del nivel de habilidades para el dibujo del diseñador (Ohira, 1995), así como del grado de desarrollo de su *mental imagery* (Kavakli & Gero, 2001), término referente a la capacidad del diseñador de hacer descripciones gráficas o reconstrucciones mentales de gente, objetos y acontecimientos que no están realmente presentes (Finke, 1994).

Por otra parte, existen estudios que plantean que el hecho de combinar representaciones bidimensionales (*sketching*) con representaciones materiales (modelos-prototipos) siempre beneficia al proceso de diseño (Brereton, 2004). Lo anterior se pone de manifiesto en la figura 3.24 que presenta Bill Buxton en su libro *Sketching User Experiences*, en donde se presentan las principales diferencias entre el sketch y el prototipo:

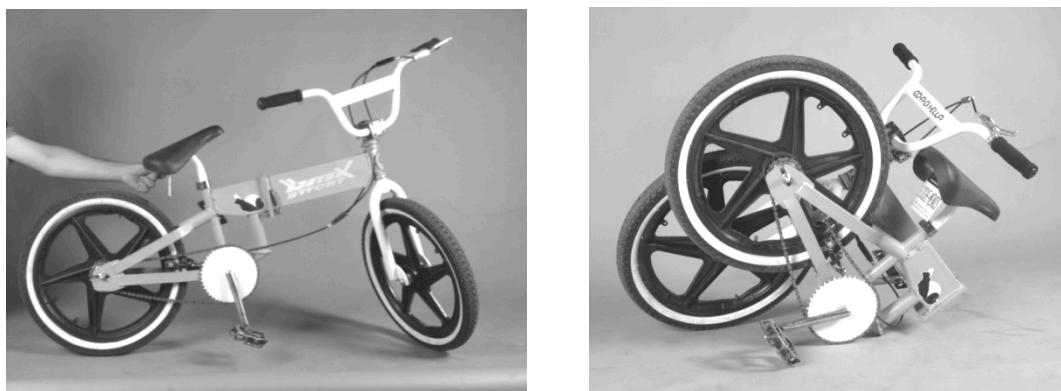
Sketch		Prototipo
Evocador	➡	Didáctico
Sugiere	➡	Describe
Explora	➡	Refina
Cuestiona	➡	Responde
Propone	➡	Evalúa
Provisional	➡	Específico

**Figura 3.24** La secuencia de *sketches* y prototipos, basado “*The sketch to prototype continuum*” de Buxton, 2007.

Esta figura enfatiza que el *sketch* y los prototipos son complementarios y no excluyentes entre sí. Esta “negociación” entre representaciones bi y tri-dimensionales, permite al diseñador optimizar sus procesos de análisis-síntesis-evaluación (Lawson, 1997). Para lograr un mejor entendimiento de cómo se complementan las Representaciones Visuales de Diseño, es importante en este momento describir a detalle las correspondientes a 3 dimensiones.

## 3.2 Representaciones Visuales de Diseño en 3 dimensiones

Conformadas por todas las expresiones con volumen, las también llamadas representaciones materiales (Brereton, 2004), las representaciones tridimensionales son parte fundamental del proceso de desarrollo de un producto. Esta vasta clasificación de representaciones permite evaluar aspectos formales, ergonómicos, funcionales, entre otros, apoyando en gran medida a la implementación de la funcionalidad a las propuestas de diseño (Acuna & Sosa, 2010). Diferentes técnicas son utilizadas para la fabricación de las representaciones tridimensionales, desde las manuales con materiales como espuma de poliuretano; con materiales estandarizados con el apoyo de máquinas-herramienta; asistidos por sistemas CAD-CAM; o por alguno de los sistemas de prototipado rápido. Las figuras 3.25 y 3.26 muestran un ejemplo de prototipo, una de las clasificaciones de las Representaciones Visuales de Diseño en 3 dimensiones.



**Figuras 3.25 y 3.26** Fotografías de prototipo de bicicleta abatible. Cortesía de Jesús Igor Orozco Villagómez, Gilberto Castillo Martell, Ana Karen Rodríguez Sandoval e Ileana del Río Garibay.

### 3.2.1 Clasificación de las Representaciones Visuales de diseño en tres dimensiones

Dentro de la extensa variedad de las representaciones tridimensionales podemos distinguir dos clasificaciones basadas en la taxonomía de Evans: modelos y prototipos. En términos generales, podemos decir que los modelos son representaciones que apoyan al diseñador en sus procesos de definición de la propuesta de diseño. La definición y revisión de los aspectos ergonómicos y estéticos son dos de los principales propósitos de los modelos. Los prototipos, por su parte, son utilizados para sustentar la decisión de fabricación del producto, así como comunicar-verificar el diseño final antes de su producción en serie (Evans, 2009).

Por otra parte, en cada una estas categorías podemos distinguir dos sub-categorías y sus respectivas representaciones, las cuales las podemos observar en la siguiente tabla:

**Tabla 3.2** Representaciones Visuales de Diseño en 3 dimensiones, basado en Evans, 2009.

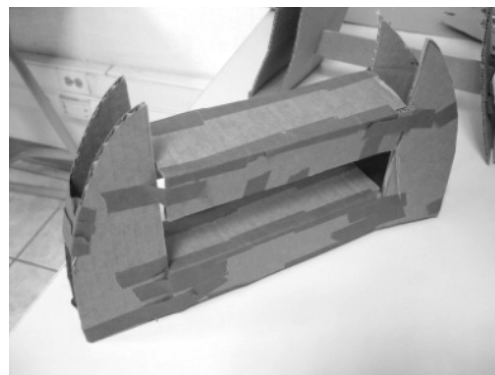
Representaciones Visuales de Diseño en 3D			
MODELOS		PROTOTIPOS	
Subgrupo	Representaciones	Subgrupo	Representaciones
Modelos de Diseño Industrial	Boceto tridimensional o <i>3D Sketch</i>	Prototipos de Diseño Industrial	Prototipo de apariencia
	Modelo de desarrollo		Prototipo Alfa
	Modelo de apariencia		Prototipo Beta
Modelos de Diseño Ingenieril	Modelo conceptual funcional	Prototipos de Diseño Ingenieril	Prototipo de pre-producción
	Modelo conceptual de operación		Prototipo experimental
	Modelo conceptual de producción		Prototipo de sistema
	Modelo conceptual de ensamble		Prototipo final físico
	Modelo conceptual de servicio		Prototipo para manufactura
			Prototipo manufacturado con materiales reales

Dentro del sub-grupo de modelos de diseño industrial podemos distinguir al boceto 3D o *3D sketch*, el modelo de desarrollo y el modelo de apariencia. A continuación se explicarán cada una de éstos.

**3D Sketch:** Derivado del *3D sketching* o bocetado tridimensional<sup>12</sup>, el *3D sketch* es una representación con el mínimo grado de detalle realizada con materiales como *clay* (arcilla para modelar), papel, cartón, entre otros. La producción debe ser rápida, simple y barata. El grado de abstracción es alto, el grado de especificación bajo y la funcionalidad nula (Gebhardt, 2003).

Por su parte, el *3D sketching* (ver figuras 3.27 y 3.28) es una manera muy efectiva para representar las primeras ideas (Evans, 2009), sobre todo para estudiantes de diseño que aún no han desarrollado su *mental imagery*. La dificultad de imaginar objetos y las posibles combinaciones o modificaciones formales entre ellos, es compensada de manera importante con el *3D sketching* (Acuna, 2009).

<sup>12</sup> Manipulación de materiales para la representación rápida de ideas y/o exploración formal.



**Figuras 3.27 y 3.28** Ejemplos de *3D sketching* y *3D sketch*.

***Design development model o modelo de desarrollo:*** Utilizado para entender la relación entre componentes, cavidades, interfaces, estructura y forma (Evans, 2009). Esta categoría de modelos se fabrican generalmente en pequeñas series y pueden apoyar de manera eficaz la exploración y desarrollo de la forma de la propuesta de diseño. La figura 3.29 muestra un ejemplo de modelos de desarrollo.



**Figura 3.29** Modelos de desarrollo.

**Modelo ergonómico:** Este tipo de modelo pretende ser una herramienta para la evaluación de aspectos ergonómico-antropométricos. Debido a que los modelos ergonómicos (ver figura 3.30) no son utilizados para evaluar los aspectos estéticos, éstos generalmente se presentan en color blanco. Esta categoría de modelos puede incorporar partes móviles y/o funcionales. Sus grados de abstracción y especificación son medios y su funcionalidad es parcial (Gebhardt, 2003).



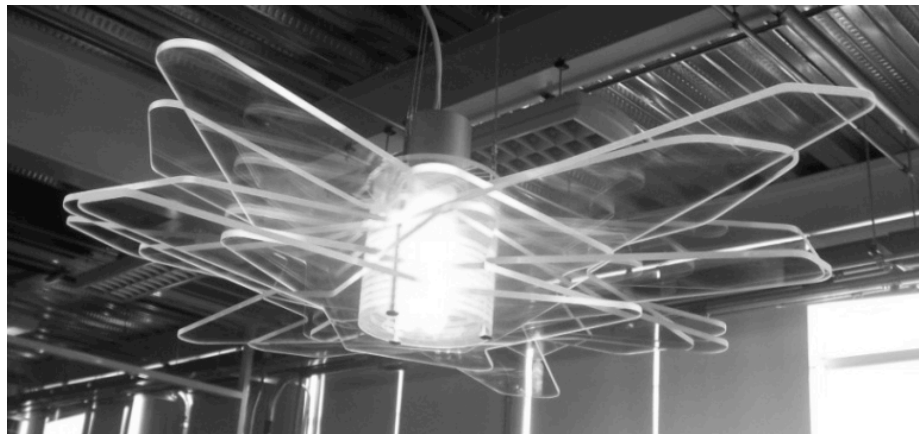
**Figura 3.30** Ejemplo de modelo ergonómico. Cortesía de Alejandra Muñoz García.

**Modelo de apariencia:** El modelo de apariencia o *styling model* representa en la mayor medida posible la apariencia del producto “real”. Este tipo de modelos es utilizado en sesiones *focus group* y pueden ser fabricados con técnicas manuales, con sistemas CAD-CAM o por sistemas de prototipado rápido. El grado de abstracción es bajo, el grado de especificación es alto y su funcionalidad es parcial (Gebhardt, 2003). En las figuras 3.31 y 3.32 se muestran ejemplos de modelo de apariencia.



**Figuras 3.31 y 3.32** Ejemplos de modelo de apariencia. Cortesía de Luis Daniel Sánchez.

**Modelo conceptual:** Considerado como categoría de modelo ingenieril (Evans, 2009), el modelo conceptual proporciona una representación muy general de la forma y sus principales funciones. Representando una herramienta importante para el “aterrizaje” y la comunicación de las primeras ideas, los modelos conceptuales son a su vez subdivididos en las siguientes sub-categorías, según la taxonomía de Evans: modelo conceptual funcional, modelo conceptual de operación, modelo conceptual de producción, modelo conceptual de ensamble y modelo conceptual de servicio. Como sus nombres lo indican, cada una de las anteriores sub-categorías del modelo conceptual sirven a diferentes propósitos relacionados con la comunicación-verificación de aspectos funcionales, operacionales, de producción, ensamble y mantenimiento respectivamente. La figura 3.33 muestra un ejemplo de modelo conceptual de producción.

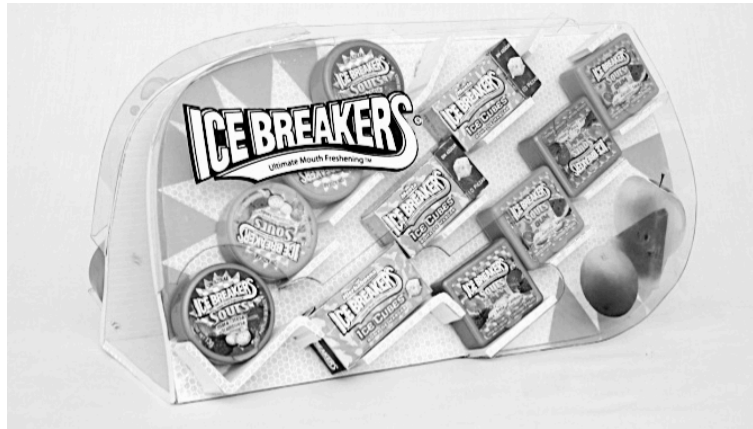


**Figura 3.33** Modelo conceptual de producción.

Cortesía de Tomás Rodríguez Hernández y José Antonio Martínez Grande.

**Modelo conceptual funcional:** Este tipo de modelo, el más utilizado de las sub-categorías del modelo conceptual, es utilizado para evaluar aspectos funcionales y puede contener partes móviles. Constituye una importante herramienta de venta y revela importante información con respecto al *performance* del futuro producto. Es común que se fabriquen con el apoyo de sistemas CAD-CAM. El grado de abstracción es bajo, el grado de especificación es alto y la funcionalidad es alta (Gebhardt, 2003). La figura 3.31 muestra un ejemplo de modelo conceptual funcional.





**Figura 3.34** Modelo conceptual funcional.

**Prototipo:** El prototipo, en términos generales, representa de manera muy importante o exacta, al producto a producir y vender. La única diferencia con el producto final radica en el proceso de producción, la cual puede ser realizada con máquinas herramienta y/o asistida por sistemas CAD-CAM. Esta representación cuenta con los materiales, procesos y acabados reales, y constituye un medio importante para la evaluación del *performance*. En términos generales se puede decir que el grado de abstracción del prototipo es nulo, el grado de especificación es alto y la funcionalidad es total (Gebhardt, 2003). Las diferentes categorías y sub-categorías de los prototipos se pueden observar en la tabla 3.2. En la figura 3.35 podemos apreciar un ejemplo de prototipo.



**Figura 3.35** Ejemplo de prototipo realizado con máquinas-herramienta.  
Cortesía de Amir Bonaventura, Julián Galeana y Jorge Octavio Pérez

**Sample o muestra:** Término que se refiere a un producto fabricado en una producción piloto. Puede ser utilizado para evaluar todos los aspectos del producto real. Las empresas recurren a esta representación para verificar y realizar ajustes relacionados a la producción en masa. Al igual que el prototipo, el grado de abstracción es nulo, el grado de especificación es alto y la funcionalidad es total (Gebhardt, 2003). Un ejemplo de *sample* se puede observar en la figura 3.36.



**Figura 3.36** Ejemplo de *sample*. Cortesía de Gabriela Coronado, Alberto Solís, Fernando Sarvide y Alejandro Suárez.

Con base en lo anterior podemos decir que la principal función de las Representaciones Visuales de Diseño en 3 dimensiones es la de verificar la propuesta a lo largo del proceso de diseño. De igual manera, podemos afirmar que los modelos de diseño pueden también apoyar de manera importante los procesos de representación y exploración de las ideas en la etapa creativa del proceso de diseño (Acuna & Sosa, 2010).

Por otra parte, las herramientas tecnológicas pueden brindar eficaz apoyo a los diseñadores en la realización de representaciones bidimensionales y tridimensionales. Ejemplo claro de lo anterior es la posibilidad de realizar cualquier tipo de *sketch* mediante dispositivos electrónicos móviles. En el capítulo siguiente se explicarán a detalle las herramientas tecnológicas utilizadas en el proceso de desarrollo de productos.

# Capítulo IV: Herramientas tecnológicas en el proceso de diseño

Hoy en día no podríamos concebir nuestra vida sin el uso de la tecnología. Esta está presente en productos y sistemas de uso cotidiano: el teléfono celular, la computadora, el automóvil, entre muchos otros. La tecnología nos permite realizar actividades de manera más rápida, efectiva y segura. De igual manera, el proceso de diseño no podría llevarse a cabo en ausencia de la tecnología, más en específico, de los sistemas informáticos, los cuales podemos clasificar en *software* y *hardware* (Pipes, 2008).

A continuación se explicarán a detalle cada una de estas categorías de los sistemas informáticos.

## 4.1 *Software*

Como ya se mencionó anteriormente, el término *software* se refiere a todos los programas computacionales que apoyan la labor del diseñador a lo largo del proceso de diseño y desarrollo de un producto. Una definición de *software*, para efectos de esta tesis, es la siguiente:

Conjunto de los programas de cómputo, procedimientos, reglas, documentación y datos asociados que forman parte de las operaciones de un sistema de computación<sup>13</sup>.

### Clasificación de *software*

A su vez, el *software* se puede clasificar en tres principales tipos:

- *Software* de sistema
- *Software* de programación
- *Software* de aplicación

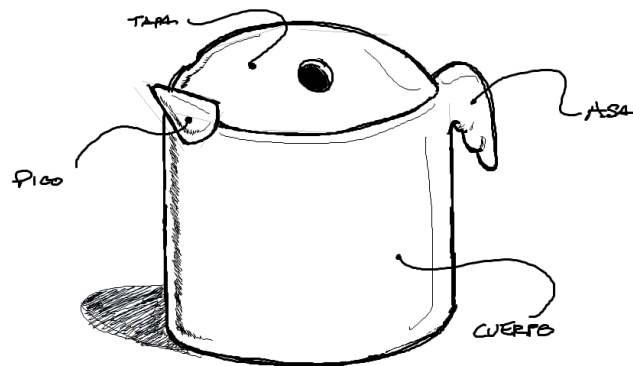
---

<sup>13</sup> Definición del IEEE-The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (2013)

Es precisamente este último el que engloba a toda solución de *software* de diseño y manufactura (CAD-CAM). Dentro de la amplia gama de programas computacionales de diseño podemos observar otra sub-clasificación que, para fines de esta tesis, es la siguiente:

- Programas de dibujo y modelación formal en 2 dimensiones
- Programas de modelación de superficies en 3 dimensiones
- Programas de modelación de sólidos en 3 dimensiones

Los programas de dibujo y modelación formal en 2 dimensiones permiten, con el apoyo del *mouse* o una tableta digitalizadora, realizar representaciones virtuales bidimensionales mediante el libre trazo y/o con el apoyo de una herramienta específica: para construir cuadrados, círculos, etc. Esta categoría de *software* se considera como no paramétrica, es decir, no requiere de medidas exactas para la construcción de figuras y objetos. Esta característica permite que esta primera clasificación de *software* pueda ser utilizada, algunos en mayor o menor medida, en la etapa creativa del proceso de diseño. Ejemplos de este tipo de *software* son SketchBook Pro, Illustrator, CorelDRAW y Paint, los cuales pueden utilizar píxeles o vectores. La figura 4.1 presenta un ejemplo de *sketch* realizado en el programa computacional Paint.



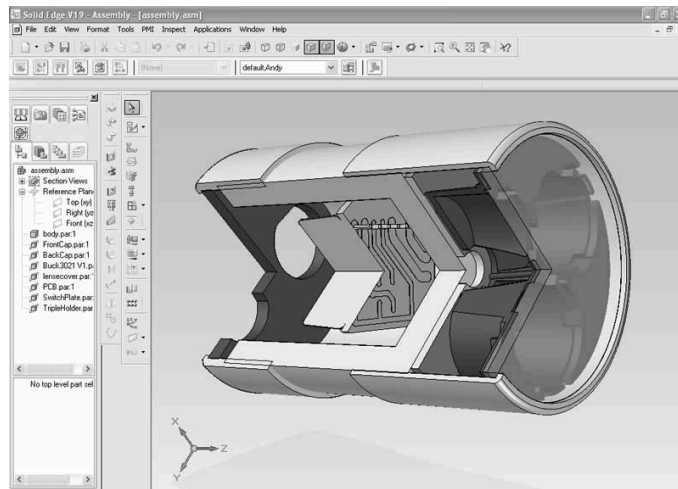
**Figura 4.1** Ejemplo de *sketch* en Paint. Cortesía de Luis Daniel Sánchez García.

Por su parte, los programas de modelación de superficies en 3 dimensiones son aquellos que permiten construir objetos a partir de sus superficies externas o caras. Este tipo de *software* permite una mejor visualización de las propuestas de diseño. Ejemplos de estos programas son SketchUp, Rhinoceros (ver figura 4.2) y Alias.



**Figura 4.2** Ejemplo de objeto construido en Rhinoceros.

Por último, los programas de modelación de sólidos en 3 dimensiones son aquellos que permiten la construcción de objetos para la representación de las propuestas de diseño y para fines de comunicación, verificación y fabricación. Ejemplos de esta categoría son Solid Edge (ver figura 4.3) y SolidWorks.



**Figura 4.3** Ejemplo de objeto construido en Solid Edge.

Estas dos últimas categorías pueden considerarse como programas paramétricos, pues requieren de medidas exactas para la construcción de los objetos. Esta cualidad permite que se puedan generar planos de ingeniería para la producción, así como modelaciones que permitan la fabricación de prototipos rápidos, moldes, producciones pequeñas, entre otros.

Podemos afirmar que los programas de dibujo y modelación formal en 2 dimensiones, al permitir la representación rápida de objetos y figuras sin medidas exactas, son susceptibles de ser utilizados en las etapas tempranas del proceso de diseño. Conforme el diseño evoluciona, los programas de modelación en 3 dimensiones son utilizados para la comunicación, verificación y la producción de los nuevos productos.

## 4.2 *Hardware*

Por su parte, el *hardware* comprende a todos los componentes físicos relacionados con los sistemas informáticos. Como se mencionó anteriormente, el *hardware* comprende tres grandes categorías:

- Dispositivos de entrada
- Dispositivos de procesamiento
- Dispositivos de salida

A continuación se describirán cada una de estas categorías.

### 4.2.1 Dispositivos de entrada

Comprendiendo a todos los medios por los cuales se ingresan datos a los dispositivos de procesamiento, los dispositivos de entrada representan el “primer contacto” con los sistemas informáticos. Existen una gran variedad de ellos y a continuación describiremos los más importantes.

**Teclado:** Inspirado en la máquina de escribir, el teclado permite el envío de información a los dispositivos de procesamiento como la computadora o incluso a algunos modelos de *tablet*<sup>14</sup>. Existen en la actualidad diversos tipos de teclados convencionales, inalámbricos, portátiles-abatibles y que incluso son fabricados con materiales como silicona o tela (ver figura 4.4).

---

<sup>14</sup> Término en inglés que se refiere a computadoras portátiles que contienen una pantalla táctil y que pueden ser operadas mediante el uso de una pluma especial o con los dedos de la mano.



**Figura 4.4** Teclado de tela.

**Mouse:** El dispositivo de entrada más reconocido es sin duda el ratón o *mouse*. Existen en el mercado diversos tipos de *mouse*, entre los cuales destacan los siguientes por tipo de mecanismo: mecánico, óptico, láser y *trackball*<sup>15</sup> (ver figura 4.5). En cuanto al medio de conexión con el dispositivo de entrada, podemos encontrar con cable e inalámbrico, siendo Bluetooth<sup>16</sup> la tecnología para conexión inalámbrica la más común en la actualidad. Es importante mencionar que este dispositivo de entrada es el más utilizado en programas computacionales para dibujo y modelación en 2D-3D.



**Figura 4.5** Logitech *Marble Mouse* con *trackball*.

**Touchpad:** Por otro lado, el *trackpad* o *touchpad*<sup>17</sup> (ver figuras 4.6 y 4.7) es un dispositivo de entrada que sustituye al *mouse* tradicional y que permite la navegación en la interfaz gráfica de las computadoras portátiles. A este respecto podemos mencionar que la última innovación en *touchpads* es el *Magic Trackpad* de la empresa Apple, el cual es un dispositivo *multi-touch* que incorpora las ventajas del *trackpad* pero que extiende su uso a computadoras de escritorio.

<sup>15</sup> Fuente: Wikipedia La enciclopedia libre.

<sup>16</sup> Especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs). Fuente: Wikipedia La enciclopedia libre.

<sup>17</sup> Término en inglés referente a un dispositivo táctil de entrada que se encuentran en las computadoras portátiles. Fuente: Wikipedia La enciclopedia libre.



**Figuras 4.6 y 4.7** *Magic trackpad* de Apple y los diferentes “gestos” para realizar un *click*, desplazar, deslizar y girar.

**Tableta digitalizadora:** En el medio del diseño es común observar a un diseñador con una tableta digitalizadora como medio para ingresar dibujos e instrucciones a un programa de diseño. Existe una gran variedad de estas, siendo la empresa Wacom la más popular entre los diseñadores (ver figura 2.16, página 29). Un derivado de la tableta digitalizadora es la Cintiq 24HD de la empresa Wacom (ver figuras 4.8 y 4.9), la cual permite dibujar directamente en la tableta-pantalla. Este dispositivo es muy utilizado por diseñadores gráficos e ilustradores y permite realizar una amplia gama de *sketches*.



**Figuras 4.8 y 4.9** Tableta Cintiq 24HD.

**Scanner:** El *scanner* o escáner es un aparato que permite ingresar bocetos, imágenes o textos existentes a los dispositivos de procesamiento. Este sistema de ingreso de información es muy utilizado hoy en día y es común encontrarlo en los llamados “multifuncionales” (ver figura 4.10), mismos que permiten fotocopiar, escanear e imprimir documentos e imágenes. Esta capacidad permite que estos dispositivos puedan considerarse tanto de entrada como de salida.





**Figura 4.10** Multifuncional Epson WorkForce T42WD.

**Scanner 3D:** Una variante de la anterior categoría es el *scanner* 3D, el cual permite capturar la información referente a la superficie de un objeto. El proceso puede ser mediante un dispositivo háptico<sup>18</sup> o por medio de láser (ver figuras 4.11 y 4.12). Este tipo de dispositivos son utilizados para la ingeniería inversa<sup>19</sup>.



**Figuras 4.11 y 4.12** Brazo digitalizador Microscribe 3D Laser y escáner láser ZScanner 800 de ZCorporation.

**Dispositivos de entrada híbridos:** Dispositivos que, como su nombre lo indica, pueden desplegar dos o más funciones. Dentro de las últimas novedades de este tipo de dispositivos de entrada podemos mencionar el *Inkling Digital Sketch Pen* de la empresa Wacom (ver figuras 4.13 y 4.14), una pluma que escanea los dibujos realizados sobre cualquier papel o cuaderno de dibujo.

<sup>18</sup> Los dispositivos hápticos permiten escanear o dibujar en espacio 3D mediante un estilete unido a un dispositivo con seis grados de sensibilidad posicional en libertad (Pipes, 2008).

<sup>19</sup> “El objetivo de la ingeniería inversa es obtener información o un diseño a partir de un producto accesible al público, con el fin de determinar de qué está hecho, qué lo hace funcionar y cómo fue fabricado”.



**Figuras 4.13 y 4.14** *Inkling Digital Sketch Pen* de Wacom.

Por otro lado, el Smart Scan LMS-100 de la empresa LG (ver figura 4.15) se presenta como una de las novedades del año 2011 en lo que respecta a dispositivos que combinan dos funciones: *mouse* y escáner.



**Figura 4.15** *Mouse* con escáner modelo Smart Scan LMS-100 de la empresa LG.

Los dispositivos de entrada son, como ya se ha mencionado, los que permiten ingresar instrucciones e información a los dispositivos de procesamiento. En el caso específico de la etapa creativa del proceso de diseño, podemos decir que el *mouse*, el teclado y la tableta digitalizadora son los dispositivos más utilizados, siendo este último el de mayor auge en los últimos años. Lo anterior debido a que permite mayor agilidad y rapidez de uso, pues además de ejecutar las mismas funciones de un *mouse*, puede ingresar de manera natural los trazos del *sketching* a un *software* de dibujo, como es el caso del SketchBook Pro (ver figura 2.14, página 19).

### 4.2.2 Dispositivos de procesamiento

Los dispositivos de procesamiento son todos aquellos aparatos que procesan la información de imágenes, voz y datos, y comprenden una gran gama de versiones de computadoras portátiles y de escritorio, así como otros dispositivos móviles como la tableta o *tablet*. Los componentes comunes entre los dispositivos de procesamiento son el CPU (o Unidad Central de Procesamiento) y la interfaz gráfica o pantalla.

Las computadoras personales, por su parte, se dividen en términos generales en compatibles con IBM (también llamadas PC<sup>20</sup>) y los ordenadores de la empresa Apple Macintosh. Por otro lado, las estaciones de trabajo son computadoras más potentes que las personales y son utilizadas fines técnicos o científicos. Las figuras 4.16 y 4.17 muestran ejemplos de dispositivos de procesamiento.



**Figuras 4.16 y 4.17** iMac de Apple y Dell Precision T7500 Tower Workstation.

En la actualidad el tipo de dispositivos de procesamiento con mayor crecimiento en el mercado son los llamadas móviles. El iPad es sin duda el *tablet* más reconocido y vendido a nivel mundial (ver figuras 2.9 y 2.10, página 15) y con un cada vez mayor número de usuarios diseñadores.

Podemos decir en términos generales que existen dispositivos de procesamiento fijos o móviles, con mayor o menor capacidad y/o tamaño, pero lo importante es contar con el adecuado para cada propósito: en el caso de la representación de dibujos sencillos en la etapa creativa, basta casi cualquier computadora o *tablet*; para la realización de modelaciones complejas es necesario contar con computadora con mayor capacidad o incluso una estación de trabajo (ver figura 4.17).

---

<sup>20</sup> Acrónimo en inglés de *Personal Computer*.

### 4.2.3 Dispositivos de salida

Como ya se comentó en el Capítulo I, los dispositivos de salida permiten obtener los resultados del trabajo de los dispositivos de entrada y de procesamiento. En los dispositivos de salida podemos distinguir dos grandes categorías: dispositivos de salida 2D y 3D.

**Dispositivos de salida 2D:** En esta clasificación podemos encontrar a la impresora, la cual puede ser de matriz de puntos, de tinta (ver figura 4.18) o láser, y el plóter (ver figura 4.19), el cual imprime en mayor formato sobre papel e incluso otros materiales como lona.



**Figura 4.18 y 4.19** Dispositivos de salida 2D: Impresora de tinta Epson Stylus T22 y plóter de tinta.

**Dispositivos de salida 3D:** Como su nombre lo indica, los dispositivos de salida 3D crean o apoyan la creación de objetos en tres dimensiones. A este proceso se le denomina prototipado rápido o *rapid prototyping* (Pipes, 2008). Existen diferentes tipos de tecnologías de *rapid prototyping* (RP), entre las cuales podemos encontrar las siguientes (Chua, 2003):

- *LOM (Laminated Object Manufacturing)*
- *FDM (Fused Deposition Modeling)*
- *3DP (Three-Dimensional Printing)*
- *SLA (Stereolithography Apparatus)*
- *SLS (Selective Laser Sintering)*

Por otro lado, las máquinas-herramienta de control numérico por computadora (CNC) pueden ser consideradas también dentro de la categoría de dispositivos de salida 3D (Pipes, 2008). Ejemplos de estos dispositivos son el router, el torno, la fresadora y los centros de maquinado CNC. Estos equipos son utilizados en las etapas de desarrollo y detalle del proceso de diseño (ver tabla 2.1, página 8), como medios efectivos de fabricación de modelos y prototipos para fines de comunicación y verificación principalmente (Gebhardt, 2003). La figura 4.20 muestra un equipo de prototipado rápido FDM.



**Figura 4.20** Equipo de prototipado rápido uPrint SE de Stratasys.

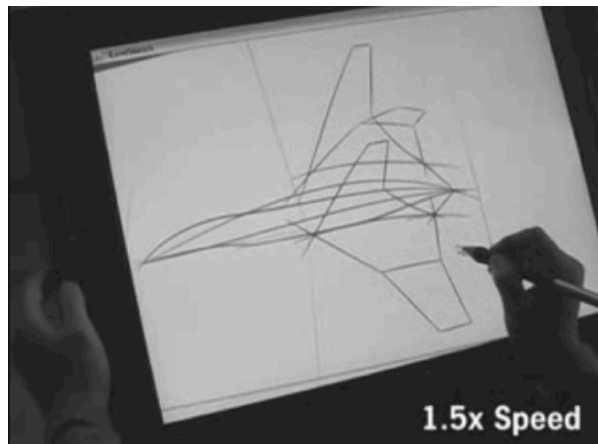
Podemos afirmar, con base a lo expuesto anteriormente, que los dispositivos de entrada, procesamiento y salida son elementos fundamentales en el proceso de desarrollo de productos. Gracias a estos es posible la representación, comunicación, manipulación, verificación y descripción de las propuestas de diseño, desde los primeros *personal sketches* (Evans, 2009), hasta los dibujos técnicos y descriptivos (Buxton, 2007).

Por su parte, las diferentes tecnologías de *rapid prototyping* permiten la representación tridimensional del eventual producto, esto en las etapas intermedia y final del proceso de desarrollo. Esto permite, entre otros, la mejor evaluación formal y de *performance*<sup>21</sup> de la propuesta de diseño. De hecho, en muchos planes de estudio de la Licenciatura en Diseño industrial en el mundo se integran materias relacionadas con el prototipado rápido y, por supuesto, de los diferentes tipos de programas computacionales susceptibles de ser utilizados a todo lo largo del proceso de desarrollo de un producto.

---

<sup>21</sup> Término en inglés que se refiere al desempeño funcional.

Como ya se ha comentado anteriormente, el uso de herramientas tecnológicas en la etapa creativa del proceso de diseño es todavía limitado. Es indudable que la realización de *personal sketches* es la mejor manera de representar de manera efectiva y rápida las primeras ideas. A este respecto, los programas computacionales que permiten la representación de la primera categoría de *sketches* son todavía escasos, pues la mayoría de los programas computacionales desarrollados para la etapa creativa tienen un énfasis en la visualización tridimensional. Como es el caso de los siguientes programas: *I love sketch* (<http://www.dgp.toronto.edu/~shbae/ilovesketch.htm>) (ver figura 4.21), SESAME (Oh, Stuerzlinger Danahy, 2005), SketchUp (<http://sketchup.google.com/intl/es/download/index.html>), entre otros. Precisamente la visualización de las primeras propuestas de diseño la que inhibe la creatividad, pues imposibilita el desarrollo de elementos formales basados en procesos interpretativos, transformacionales y de reagrupación (Prats & Garner, 2006). Como ya se mencionó anteriormente, estos procesos sólo pueden darse con representaciones con alto grado de abstracción, una de las principales características de los *personal sketches*.



**Figura 4.21** Programa computacional *I Love Sketch*.

Considerando que el trabajo de diseño asistido por computadora es cada vez más importante para la interacción de los grupos de trabajo, y con el propósito de determinar las características idóneas para un programa que apoye adecuadamente la fase creativa a través del desarrollo de *personal sketches*, se considera pertinente realizar un experimento (Gutiérrez & De la Vara, 2012) que compare programas computacionales. Un estudio que ponga de manifiesto las diferentes capacidades y limitaciones para la generación-representación de propuestas de diseño en la etapa creativa. En el siguiente capítulo se describirá el estudio exploratorio realizado para dichos fines.

# Capítulo V: Experimento

Como ya se mencionó en el Capítulo III, las Representaciones Visuales de Diseño en 2 y 3 dimensiones son parte fundamental del proceso de diseño (Brereton, 2004). En lo que respecta a la etapa creativa, los *personal sketches* se presentan como el medio más efectivo para la representación y exploración formal de las primeras ideas. Esto debido a que esta primera categoría de los *sketches* (ver Tabla 3.1 en página 35) permite una rápida salida de las ideas (Ohira, 1995).

Con la intención de cumplir con el objetivo general de la investigación (determinar las características y atributos que permiten a ciertas herramientas tecnológicas sean eficientes para soportar la etapa creativa del proceso de diseño de producto), a continuación se describe el experimento, el cual se centra en la capacidad de reproducción de *personal sketches* en tres programas computacionales.

## 5.1 Planteamiento del experimento

A continuación se describirá el experimento realizado:

### 5.1.1 Supuesto

Es importante mencionar que no se realizaron hipótesis, esto debido a que es un primer acercamiento al problema (debido a la complejidad del mismo y la poca investigación realizada en el tema). Sin embargo, se consideró pertinente definir el siguiente supuesto:

**La eficiencia en la representación de *sketches* de un programa computacional, definida en términos de rapidez de ejecución y fidelidad de copiado, puede ser medida en un experimento que utilice un instrumento que permita aislar la acción de dibujar de la de pensar.**

### 5.1.2 Objetivo del experimento

El objetivo principal del experimento se presenta a continuación:

**Analizar la eficiencia en los procesos y posibilidades de representación de tres de los programas computacionales más utilizados en la etapa creativa del proceso de diseño, lo anterior mediante un ejercicio de representación y exploración conceptual.**

El análisis de la eficiencia de cada una de las herramientas tecnológicas, para ejecutar Representaciones Visuales de Diseño en 2 dimensiones (*personal sketches*), consideró dos indicadores: tiempo de ejecución y calidad. El tiempo de ejecución es definido como la cantidad de segundos transcurridos en la elaboración de un *sketch*. La calidad se refiere a la fidelidad de copiado de los *personal sketches* en los programas de cómputo seleccionados.

### 5.1.3 Delimitación del experimento

Debido a que el *sketching* es una actividad compleja, en la que interviene tanto la vista como la actividad mental (como se muestra en las figuras 0.1 y 0.2), este experimento pretendió centrarse únicamente en la capacidad de representación de las primeras ideas en los programas computacionales seleccionados. Por lo anterior, todo lo relacionado con la posibilidad de observación y la actividad mental del diseñador ante las interfaces de los diferentes programas, se considerará en investigaciones futuras.

### 5.1.4 Diseño de investigación

El diseño de investigación fue experimental (Hernández, Fernánadez & Baptista, 2008), de carácter exploratorio y con enfoque mixto (cuantitativo-cualitativo). La razón de tener un enfoque mixto fue para lograr una perspectiva más integral y completa del fenómeno a estudiar. Por otra parte, aunque los resultados no puedan ser concluyentes, pues haría falta una muestra mayor, fue de mucha utilidad como un primer acercamiento al problema de investigación, además de servir para validación del instrumento empleado.



### 5.1.5 Variables

A continuación se enuncian y describen las variables del experimento:

**Variables independientes:** Las variables independientes comprenden los tres programas computacionales a comparar: Sketchbook Pro, SketchUp e Illustrator. La elección de los programas computacionales para la elaboración de este experimento se basó en tres aspectos: popularidad, accesibilidad y diferenciación. Se eligieron los mencionados programas computacionales debido a que tienen gran aceptación en el medio académico y profesional del diseño en nuestro país, además de ser de fácil acceso. Otro aspecto a considerar fue la diferenciación, pues estos tres programas cuentan con características e interfaces diferentes. A continuación se presente una breve descripción de cada uno de los programas de cómputo seleccionados<sup>22</sup>:

**SketchBook Pro:** Permite el libre trazo en 2 dimensiones y se considera dentro de la categoría de programas de dibujo y modelación formal en 2 dimensiones.

**Illustrator:** Hace posible el trazo y creación<sup>23</sup> de figuras en 2 dimensiones, dentro de la categoría de programas de dibujo y modelación formal en 2 dimensiones.

**SketchUp:** Permite la creación de figuras-volúmenes en 2 y 3 dimensiones. Se considera dentro de la categoría de programas de modelación de superficies en 3 dimensiones.

Por su parte, el *hardware* seleccionado para la elaboración del experimento se definió con base a la viabilidad para conseguir los dispositivos de procesamiento (en todos los casos se utilizó una computadora portátil). En cuanto a los dispositivos de entrada, la elección de estos se concedió a cada uno de los diseñadores participantes, siendo elegida la tableta Wacom para la utilización del Sketchbook Pro, y de un *mouse* para SketchUp e Illustrator.

---

<sup>22</sup> En los tres programas es posible, en mayor o menor grado, la manipulación de figuras y objetos, así como la aplicación de color y texturas, entre otros.

<sup>23</sup> Para fines de esta tesis, el término “creación” se refiere a la utilización de herramientas propias del programa computacional para la elaboración-representación de objetos y figuras.

En la tabla 5.1 se describen el *software* y *hardware* utilizados, así como la letra asignada<sup>24</sup> a cada uno de los estudios del experimento.

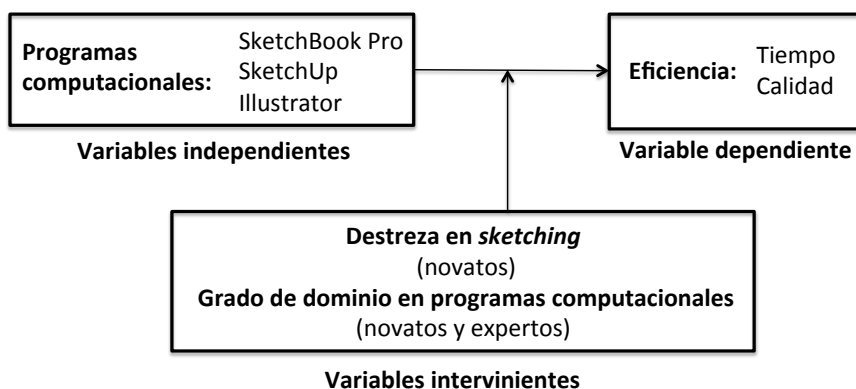
**Tabla 5.1** Descripción de *software* y *hardware* utilizados en el experimento.

Estudios del experimento	Software	Hardware (dispositivo de entrada)	Hardware (dispositivo de procesamiento)
A	SketchBook Pro	Tableta Wacom	Computadora portátil
B	SketchUp	Mouse	
C	Illustrator		

**Variable dependiente:** Se determinó una variable dependiente denominada **eficiencia**, la cual considera los indicadores de **tiempo de ejecución** y **calidad**. Como ya se mencionó en la página 67, el tiempo de ejecución se refiere a la cantidad de segundos transcurridos en la elaboración de un *sketch*. La calidad es definida como la fidelidad de copiado de los *personal sketches* en el *software* seleccionado.

**Variables intervinientes:** Las variables intervinientes, por su parte, corresponden a la capacidad creativa y la destreza en la representación de las ideas por medio de *sketches* de los sujetos denominados novatos, así como el grado de dominio en el manejo de los programas computacionales de los novatos y expertos<sup>25</sup>.

Para fines de un mejor entendimiento, la figura 5.1 muestra las diferentes variables del experimento.



**Fig. 5.1** Variables del experimento.

<sup>24</sup> Se asignó una letra a los diferentes estudios del experimento con la intención de evitar confusiones.

<sup>25</sup> En el apartado 5.1.6 Sujetos del experimento se define el perfil de los novatos y expertos.

Debido a la complejidad que representa aislar la actividad mental que se manifiesta a la par de la acción de dibujar, la medición del tiempo de ejecución de los *sketches* consideró únicamente la acción directa del utensilio de dibujo sobre el papel o el accionar del dispositivo de entrada (cursor del *mouse* y la pluma de la tableta Wacom) en el caso de los programas computacionales. Por lo anterior, no se consideraron los “tiempos muertos” que ocurran durante el trazo y copiado de un mismo *sketch*<sup>26</sup>.

La evaluación de la calidad, por su parte, se realizó en una escala de 1 a 3 (siendo 1 el menor valor y 3 el máximo). En la figura 5.2 se ejemplifica una evaluación de calidad: Tomando de referencia la realizada a mano por el novato del Estudio A (izquierda), las evaluaciones de calidad de las figuras de en medio y derecha obtienen 2 y 3 de calificación respectivamente (figuras realizadas por el novato y el experto en el *software* SketchBook Pro).

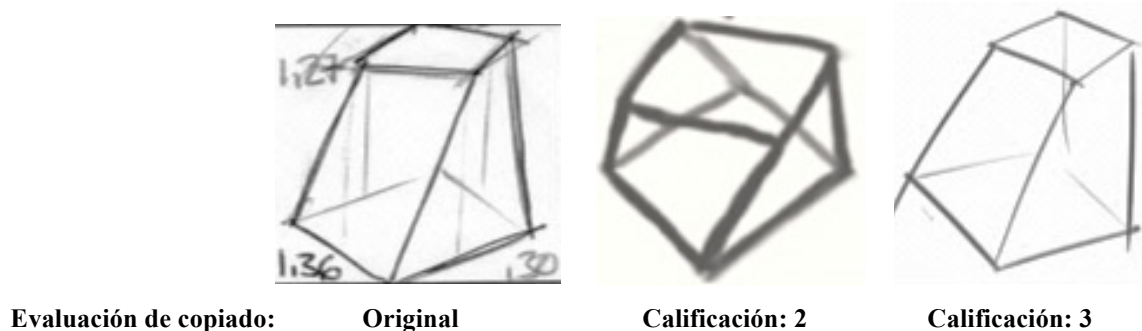


Fig. 5.2 Ejemplo de evaluación de calidad de copiado.

### 5.1.6 Sujetos del experimento

La selección de los sujetos para el experimento, por otro lado, tuvo como base su grado de dominio de la herramienta computacional y su experiencia profesional. Los designados como novatos son estudiantes de la Licenciatura en Diseño Industrial del Tecnológico de Monterrey Campus Querétaro, los cuales contaban con un dominio medio de cada herramienta computacional. En lo relacionado a los expertos, su elección se basó en los años de experiencia profesional utilizando el programa correspondiente (por lo menos 3 años). Al igual que los novatos, se requirió de un experto por cada herramienta computacional.

<sup>26</sup> Para lograr una mayor exactitud en la medición del tiempo de ejecución de cada uno de los *sketches*, se prevé la grabación en video y su posterior edición en DVD.

Es importante mencionar que los resultados de este experimento pudieron ser afectados por las variables intervinientes. La destreza para el dibujo a mano alzada de los novatos pudo influir en la disminución/aumento de tiempo de ejecución de los *sketches* (Verstijnen, van Leeuwen, Goldschmidt, Hamel & Hennessey, 1998). En este sentido la validez podrá fortalecerse cuando se incluyan un mayor número de sujetos en experimentos a futuro.

En lo que respecta a las capacidad creativa de los novatos, el instrumento del experimento considerará acotar el espectro de soluciones de diseño (ver páginas 75-78). Esta medida disminuyó el posible impacto de esta variable interviniente en los resultados del experimento. El grado de dominio de los novatos y expertos en los respectivos programas computacionales, por su parte, también pudieron afectar los resultados del mismo. Esta afectación, al igual que la destreza en el dibujo a mano alzada de los novatos, se podrá nulificar con la inclusión de un mayor número de sujetos en el experimento.

### 5.1.7 Preguntas del experimento

Antes de presentar las preguntas relacionadas propiamente con el experimento y sus resultados, vale la pena plantear la siguiente pregunta en un nivel más elevado: **¿Es posible medir la eficiencia de herramientas tecnológicas para la elaboración de *sketches*?**

En primera instancia se considera que el instrumento desarrollado para este experimento permitió medir la eficiencia de determinadas herramientas tecnológicas. La explicación a detalle del instrumento desarrollado para el experimento, así como los resultados del mismo, se presentarán a lo largo de este capítulo. Por otro lado, a continuación se plantean las preguntas relacionadas con los resultados del experimento.

**¿Qué tan similares serán los resultados de eficiencia (tiempo y calidad) obtenidos entre los diferentes programas computacionales?** Esta pregunta nos permitió identificar si existe o no una relación directamente proporcional de aumento de calidad y disminución de tiempo entre novato y experto, en cada uno de los programas estudiados.

En el caso de los novatos, **¿en qué porcentaje aumentará el tiempo de ejecución y disminuirá la fidelidad de copiado en la reproducción de *personal sketches* en programas computacionales, esto en comparación con los expertos?** Esta pregunta parte de la premisa de que el experto realizaría de mejor

manera, y en un menor tiempo, cada una de las reproducciones de los *sketches* realizados a mano previamente por el novato.

Por último, **¿es igual de rápida y con la misma calidad la reproducción de *personal sketches* en un programa computacional con una interface similar a la del *sketching*, que la representación por medio del bocetado manual?** Es decir, ¿resulta lo mismo bocetar en papel *versus* directamente en la computadora?

A continuación se explicará el instrumento desarrollado para llevar a cabo el experimento.

## 5.2 Diseño del instrumento

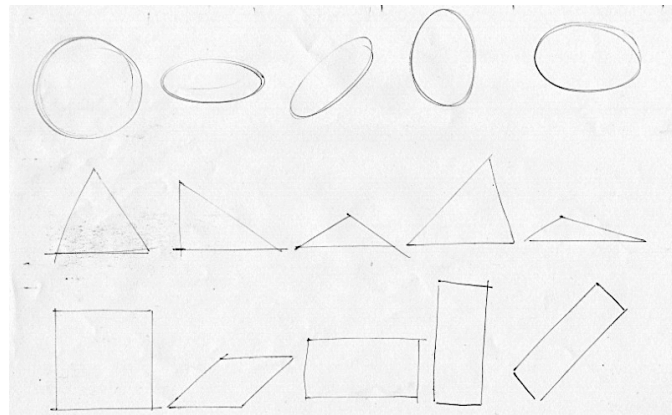
La primera intención del instrumento del experimento fue la de conducir al novato en la realización de *sketches* a mano alzada de figuras y formas con diferentes grados de abstracción, incluyendo la simulación del proceso de diseño de un objeto de uso cotidiano con un grado de complejidad bajo. En segunda instancia, los novatos replicaron los bocetos realizados a mano, pero ahora en el *software* correspondiente. Por último, los expertos replicaron los mismos *sketches* en los respectivos programas computacionales, esto con la intención de observar y comparar los procesos de representación en la interface computacional entre novatos y expertos. Al comparar los resultados obtenidos de tiempo de ejecución y calidad de reproducción, se identificaron los principales atributos que permiten a determinada herramienta tecnológica ser susceptible de ser utilizada en la etapa creativa del proceso de diseño.

Para la conducción del novato en la realización de *sketches*, se desarrolló un instrumento preliminar<sup>27</sup>, el cual se explicará a continuación:

**Parte 1:** El objetivo de esta primera parte es la de representar formas con un alto grado de abstracción, así como algunas posibles modificaciones simples. La figura 5.3 representa la primera parte del instrumento y en la cual se pueden observar figuras simples geométricas en dos dimensiones (círculo, triángulo y cuadrado) y las siguientes modificaciones: deformar, comprimir, estirar y girar.

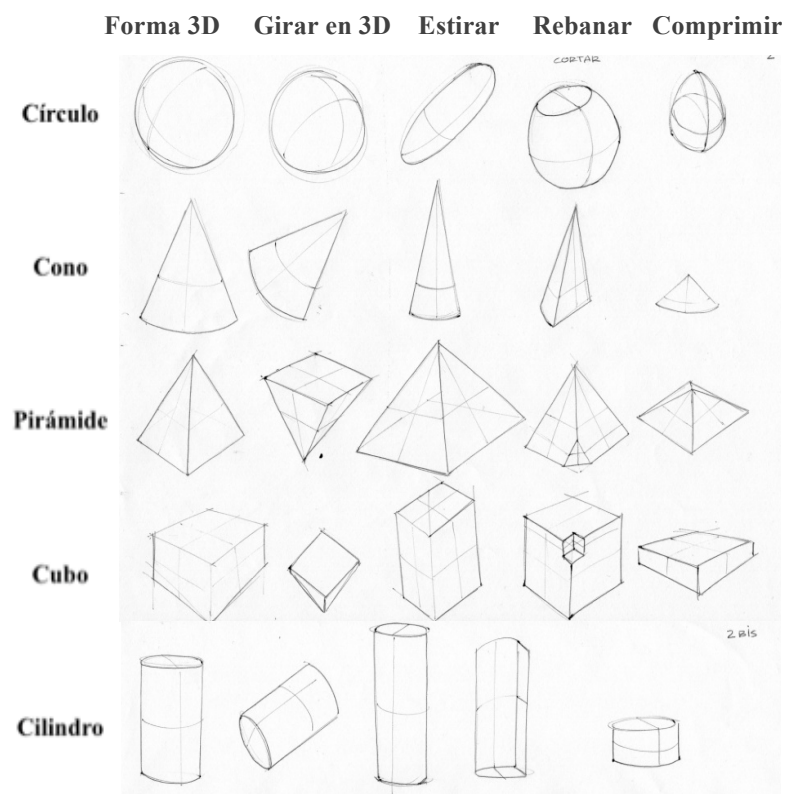
---

<sup>27</sup> Para la elaboración de los *sketches* se contó con el apoyo de Erick Giovanni Ledesma Márquez, alumno de tercer año de la carrera Diseño Industrial del Tecnológico de Monterrey Campus Querétaro.



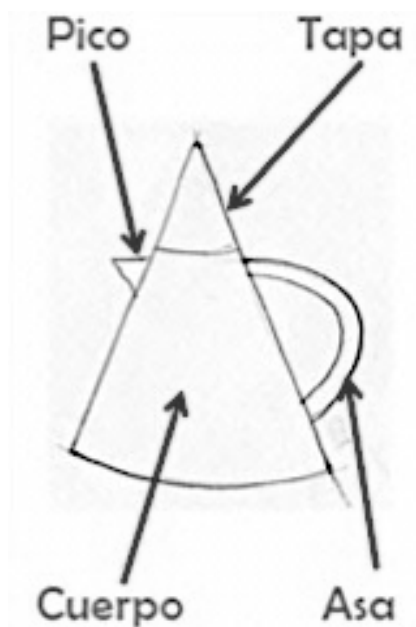
**Figura 5.3** Parte 1 del instrumento. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.

**Parte 2:** En la figura 5.4 se representa la segunda parte del instrumento, la cual planteó la representación de volúmenes básicos (esfera, cono, pirámide, cubo y cilindro) con modificaciones de visualización (giro en 3 dimensiones) y de manejo/transformación de la forma (estiramiento, rebanado y compresión). El alumno utilizó líneas auxiliares para representar de mejor manera el volumen. En esta parte se pretendía aumentar de manera gradual el grado de dificultad pero manteniendo un alto grado de abstracción.



**Figura 5.4** Parte 2 del instrumento. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.

**Parte 3:** En lo que respecta a la tercera etapa del instrumento, se solicitó al alumno que elaborara diferentes propuestas de diseño de una tetera<sup>28</sup>, la cual estaría conformada únicamente por cuatro componentes: cuerpo, pico, tapa y asa (ver figura 5.5). La intención de esta etapa fue la de desarrollar diferentes propuestas de tetera en vista lateral con base en transformaciones laterales (página 46), considerando los volúmenes básicos como los cuerpos de las mismas. Lo anterior permitió acotar las posibilidades de diseño, obteniendo soluciones formales más homogéneas y equivalentes, lo cual le dio mayor validez a los resultados del estudio.

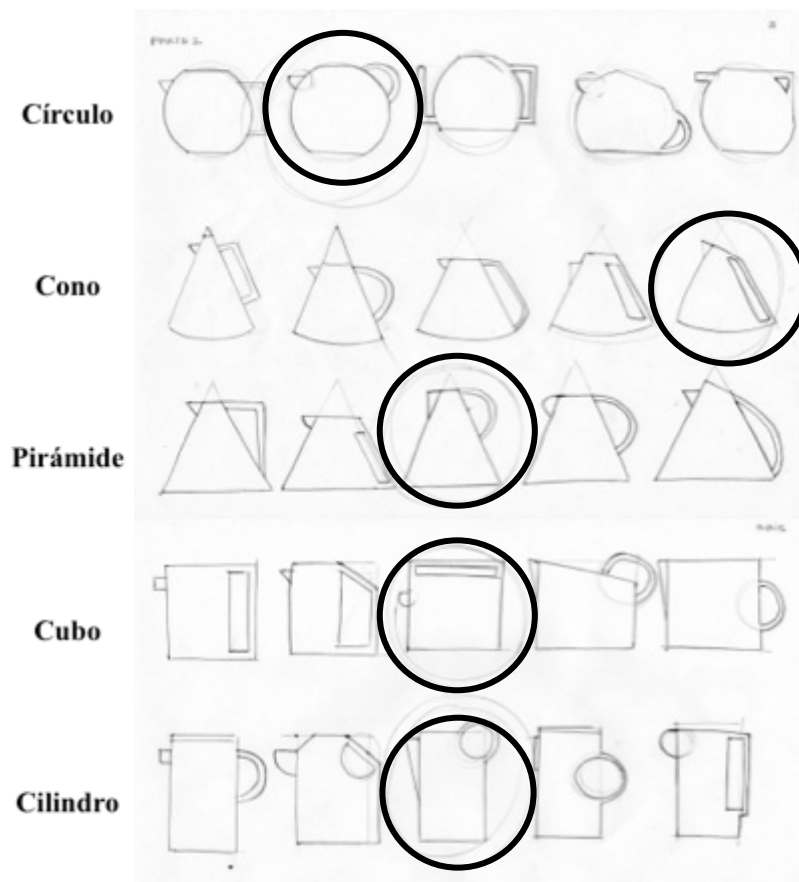


**Figura 5.5** Componentes de la tetera. Cortesía de Erick Giovanny Ledesma Márquez.

En la figura 5.6 se presentan las diferentes propuestas de tetera basadas en la esfera, el cono, la pirámide, el cubo y el cilindro (5 propuestas en total por cada volumen).

---

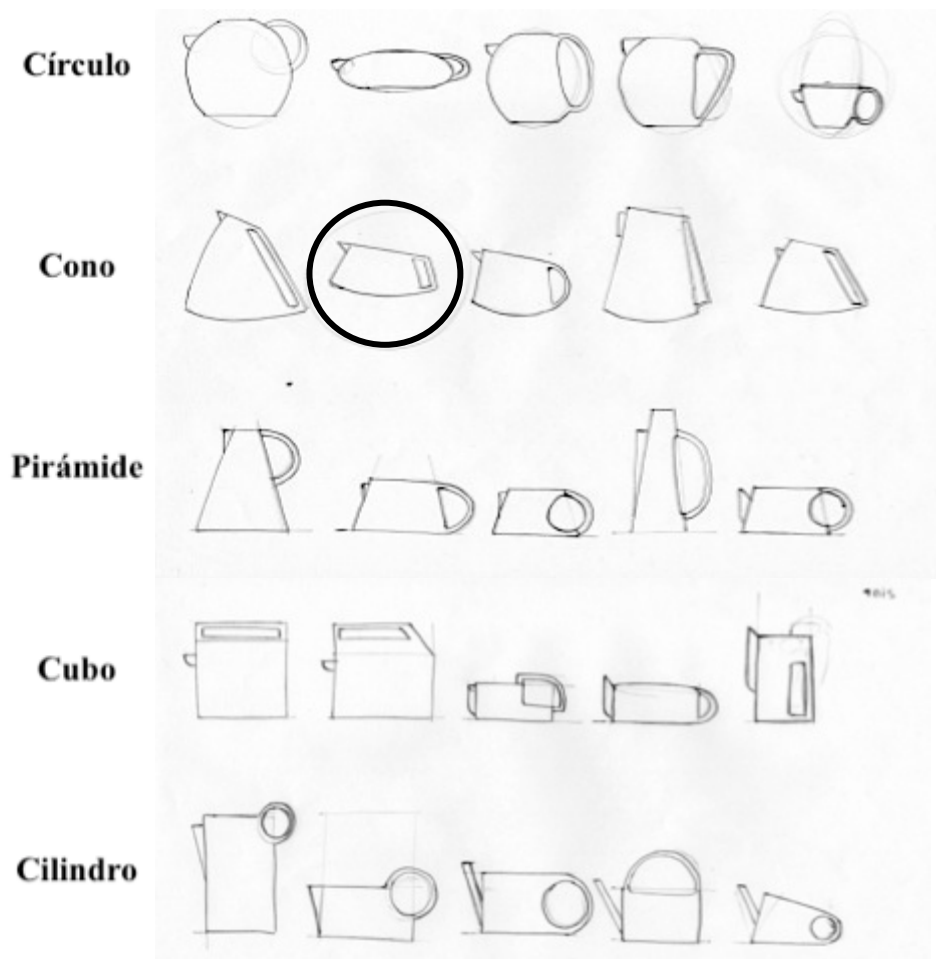
<sup>28</sup> Este experimento tiene como referencia el *paper* presentado por Miquel Prats y Steve Garner *Observations on ambiguity in design sketches*, publicado en Tracey the Online Journal of Contemporary Drawing Research, 2006.



**Figura 5.6** Parte 3 del instrumento. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.

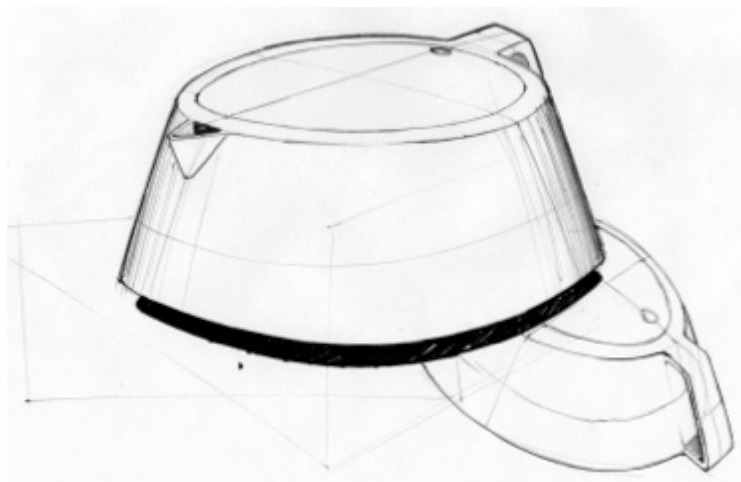
**Parte 4:** Al finalizar la parte 3 se le solicitó al diseñador señalara las propuestas que a su juicio le parecían las más innovadoras y/o atractivas (marcadas con un círculo negro en la figura 5.6). Lo anterior con la intención de tomarlas como base para la elaboración de transformaciones verticales (página 46) en la cuarta parte del instrumento (ver figura 5.7).





**Figura 5.7** Parte 4 del instrumento. Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.

**Parte 5:** Al término de esta cuarta parte el diseñador eligió la propuesta que le pareció la mejor (marcada con un círculo negro en la figura 5.7), para posteriormente dibujarla en 3 dimensiones en la parte 5 (figura 5.8). En esta última etapa del instrumento el diseñador tenía la posibilidad de dibujar el objeto en perspectiva con el apoyo de líneas auxiliares, sombras y efectos de textura.



**Figura 5.8** Parte 5 del instrumento. Perspectiva con sombras de la propuesta elegida en la parte 4.

Cortesía de Erick Giovanni Ledesma Márquez.

**Cambios al instrumento:** Con base en una revisión del instrumento previamente descrito, se tomó la decisión de realizar ajustes, entre los que destacan los siguientes:

1. Eliminar la primera parte del instrumento (dibujos en dos dimensiones de figuras simples). Lo anterior bajo la idea de que los siguientes dibujos presentarían un grado de abstracción y de representación en dos dimensiones similares, además de que esto aligeraría la sesión de trabajo.
2. Las partes cambiaron su nombre a secciones, el cual se consideró como un término más adecuado para utilizarse.
3. El formato se cambió a vertical con dos intenciones: la primera, hacer más evidente la representación de transformaciones verticales y laterales<sup>29</sup> en las secciones 2 y 3 (propuestas de tetera); la segunda, para tener la oportunidad de agregar dos modificaciones de manejo/transformación de la forma a la sección 1: torcer y deformar. Se consideró que estas dos modificaciones son igualmente utilizadas en el proceso de materialización y desarrollo de la forma de un producto.

A continuación se muestra el nuevo formato del instrumento (figuras 5.9 a 5.12).

---

<sup>29</sup> Estas clasificaciones se pueden consultar en la página 45.

Estudio #	Sección 1	Fecha/Horario	Sujeto		
Esfera	Cono	Pirámide	Cubo	Cilindro	
Figura 3D					
Otro ángulo					
Estríar					
Rebanar					
Comprimir					
Torcer					
Deformar					

Estudio #	Sección 2	Fecha/Horario	Sujeto		
Esfera	Cono	Pirámide	Cubo	Cilindro	

**Figuras 5.9 y 5.10** Formatos de las secciones 1 y 2 del instrumento.

Estudio #	Sección 3	Fecha/Horario	Sujeto		
Esfera	Cono	Pirámide	Cubo	Cilindro	

Estudio #	Sección 4	Fecha/Horario	Sujeto

**Figuras 5.11 y 5.12** Formatos de las secciones 3 y 4 del instrumento.

Como se puede observar en los formatos de las secciones 2 y 3 (figuras 5.10 y 5.11), se consideró limitar a 5 propuestas de tetera por cada figura básica, esto con la intención de aligerar la ejecución del experimento.

## 5.3 Ejecución del experimento

A continuación se detallan los pormenores de la ejecución del experimento.

### 5.3.1 Condiciones de trabajo

Es importante mencionar que los diseñadores novatos y expertos realizaron sus respectivos ejercicios bajo condiciones equivalentes de trabajo:

1. **Horario:** Las citas de trabajo se programaron entre semana en horario entre 10:00 ó 17:00 hrs. La intención de estos horarios era la de minimizar el riesgo de cansancio y de sensación de hambre.
2. **Lugar:** Las sesiones se realizaron en oficinas de 2 x 3 mts. que contaban con un escritorio y una silla, además de buena iluminación natural (ver figura 5.13).
3. **Duración de sesiones:** Los novatos realizaron al menos dos sesiones de trabajo, la primera para la ejecución de los *sketches* y con el apoyo del instrumento descrito anteriormente (secciones 1 a 4). Y una segunda (y en algunos casos una tercera), para la realización de la sección 5 (representación-copia de las secciones 1 a 4 en el programa correspondiente). En el caso de los expertos, se realizaron de una a dos sesiones para la realización de la sección 6<sup>30</sup> (representación-copia de las secciones 1 a 4 también en el programa correspondiente).



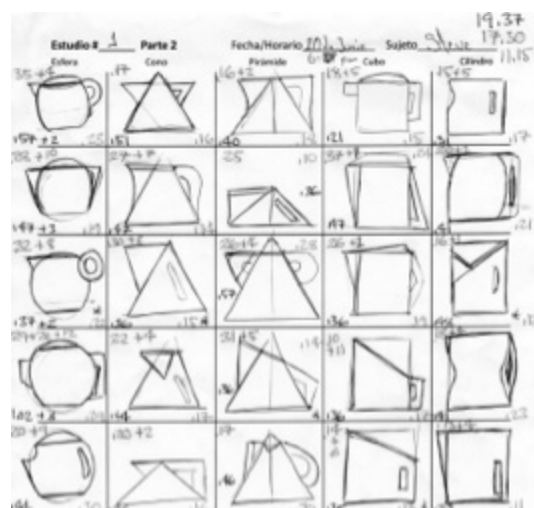
**Figura 5.13** Sesión de trabajo de secciones 1 a 4 del Estudio A. Cortesía de Steve Giles Cabrera Herrera.

---

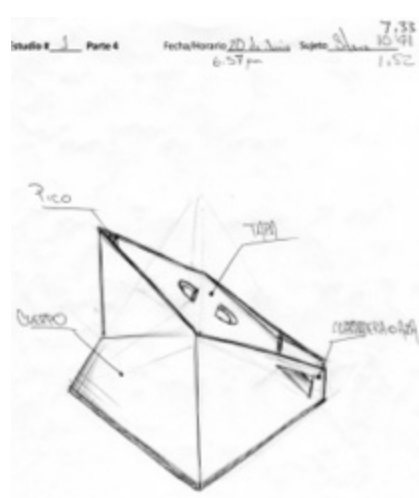
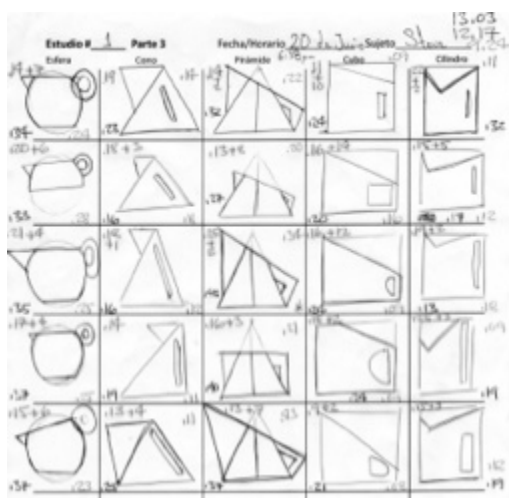
<sup>30</sup> Es importante mencionar que al experto del Estudio A se le solicitó que realizará todas las secciones directamente en el programa SketchBook Pro, esto previo a la copia de los dibujos realizados por el novato. Lo anterior con la intención de realizar un análisis comparativo entre la creación vs. copia del experto en el mencionado programa computacional (los resultados se encuentran en la pág. 96).

### 5.3.2 Resultados del experimento

A continuación se presentan los *sketches* realizados en las secciones 1 a 4 del Estudio A<sup>31</sup> (figuras 5.14 a 5.17).



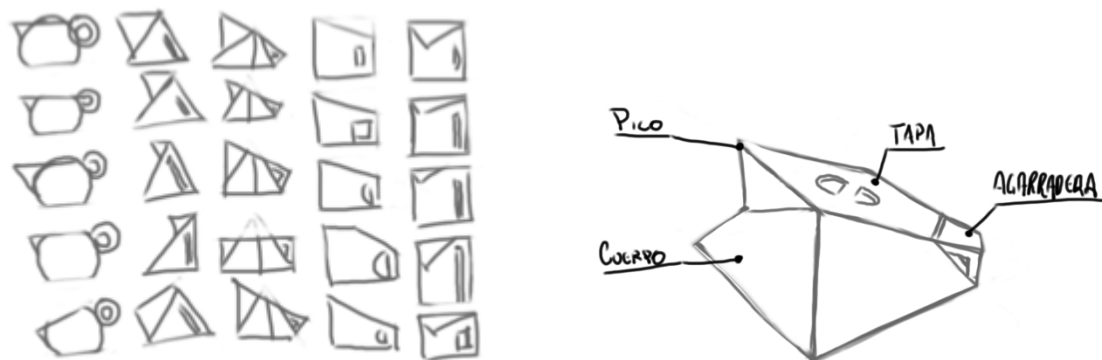
Figuras 5.14 y 5.15 Personal sketches de las secciones 1 y 2 del Estudio A. Cortesía de Steve Giles Cabrera Herrera.



Figuras 5.16 y 5.17 Personal sketches de las secciones 3 y 4 del Estudio A. Cortesía de Steve Giles Cabrera Herrera.

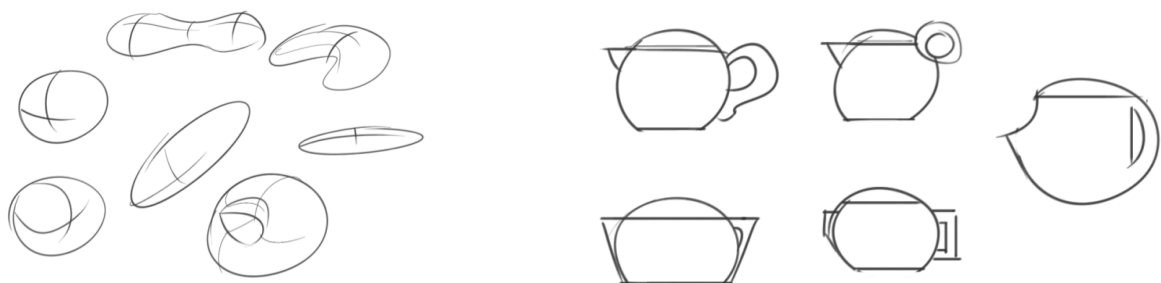
<sup>31</sup> La totalidad de los *sketches* de los estudios A, B y C se encuentran en **Anexo 1: Personal sketches de los Estudios A-B-C**.

Cortesía de Steve Giles Cabrera Herrera.



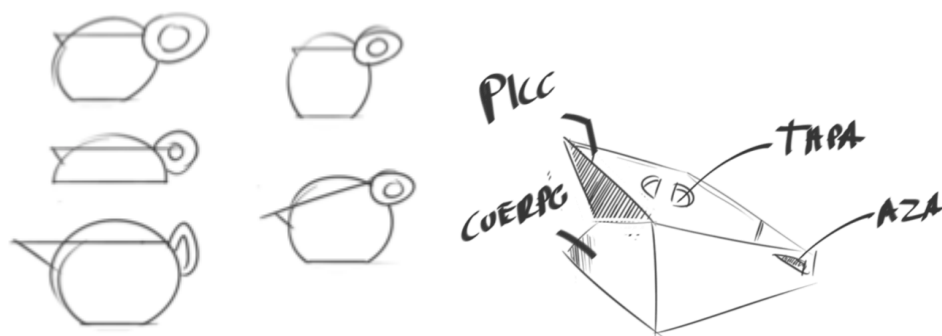
Cortesía de Steve Giles Cabrera Herrera.

82



**Figuras 5.22 y 5.23** Sección 6 del Estudio A: Representación en SketchBook Pro de segmentos de secciones 1 y 2.

Cortesía de Pablo Ruy Sánchez.



**Figuras 5.24 y 5.25** Secciones 6 del Estudio A: Representación en SketchBook Pro de segmentos de la sección 3 y 4.

Cortesía de Pablo Ruy Sánchez.

En cuanto a los resultados obtenidos de tiempo de representación, éstos se presentan en las tablas 5.2 a 5.4, con los resultados correspondientes a las secciones 1, 2 y 3 del novato del Estudio A:

**Tabla 5.2** Registro de tiempos de Estudio A Sección 1.

	Esfera		Cono		Pirámide		Cubo		Cilindro		1924
1	34	8	21	15	24	22	24	29	25	25.6	
2	37	9	29	16	44	23	34	30	47	38.2	
3	26	10	34	17	38	24	30	31	49	35.4	
4	79	11	45	18	74	25	69	32	41	61.6	
5	40	12	43	19	37	26	51	33	25	39.2	
6	74	13	46	20	125	27	96	34	64	81	
7	43	14	31	21	43	28	52	35	56	45	0.85
	333		249		385		356		307		1630
	47.57		35.57		55.00		50.86		43.86	46.57	294

**Tabla 5.3** Registro de tiempos de Estudio A Sección 2.

	Esfera		Cono		Pirámide		Cubo		Cilindro		1177
1	59	6	51	11	40	16	21	21	31	40.4	
2	50	7	47	12	36	17	47	22	41	44.2	
3	39	8	36	13	57	18	36	23	48	43.2	
4	65	9	44	14	36	19	36	24	41	44.4	
5	44	10	26	15	46	20	35	25	32	36.6	0.89
	257		204		215		175		193		1044
	51.40		40.80		43.00		35.00		38.60	41.76	133

**Tabla 5.4** Registro de tiempos de Estudio A Sección 3.

	Esfera		Cono		Pirámide		Cubo		Cilindro		783
1	34	6	23	11	32	16	24	21	32	29.0	
2	33	7	16	12	27	17	20	22	17	22.6	
3	35	8	16	13	45	18	24	23	13	26.6	
4	37	9	19	14	40	19	24	24	19	27.8	
5	37	10	29	15	37	20	21	25	19	28.6	0.86
	176		103		181		113		100		673
	35.20		20.60		36.20		22.60		20.00	26.92	110

En las tablas 5.2, 5.3 y 5.4 se pueden observar el registro de los tiempos de ejecución de los *personal sketches* del novato del Estudio A en las secciones 1, 2 y 3 respectivamente. También podemos observar tiempos totales y promedios de tiempo por tipo de figura, el promedio de tiempo ejecución de todas las figuras, así como el tiempo total de la sesión, la suma de los “tiempos muertos”<sup>32</sup> y la suma de total de dibujo. En el caso del tiempo registrado en la sección 4 del Estudio A fue de 453 segundos<sup>33</sup>.

En lo referente a la calidad de reproducción de los *personal sketches* realizados por los novatos y expertos, a continuación se presenta la tabla 4.5 con un fragmento del registro de tiempo y calidad del Estudio A entre los *personal sketches* realizados a mano (ANm) y en SketchBook Pro (ANs) por el novato, así como del experto en SketchBook Pro (AEs).

<sup>32</sup> Término referente a los tiempos utilizados para pensar, mover la hoja y otras acciones no relacionadas con dibujar.

<sup>33</sup> Los tiempos totales de los Estudios A, B y C se pueden consultar en **Anexo 2: Registro de tiempos de los Estudios A-B-C**.

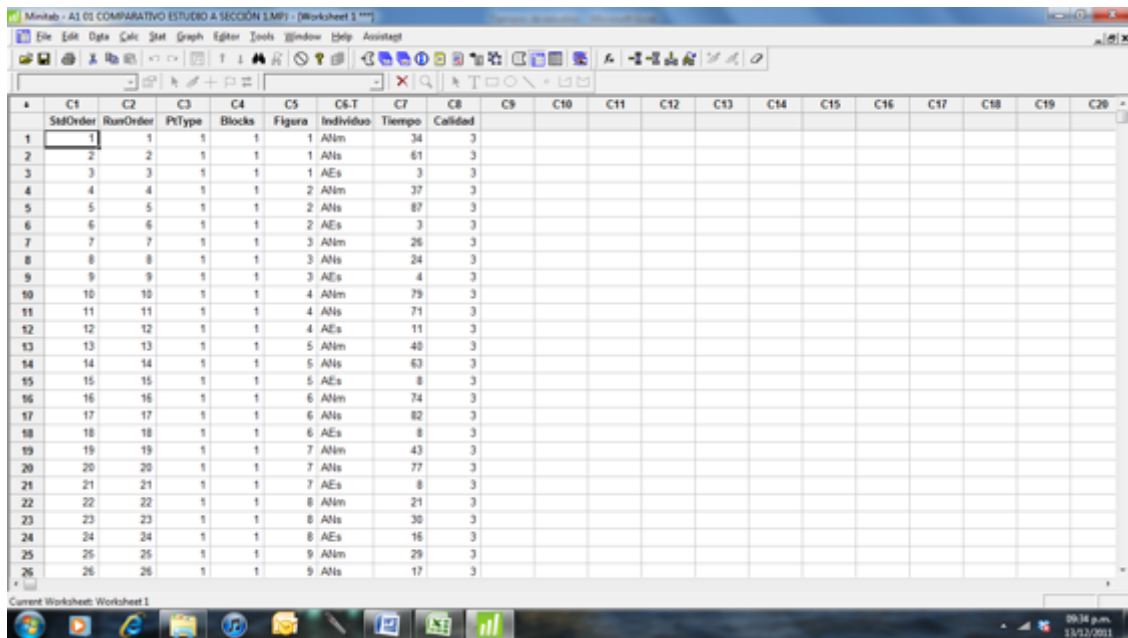


**Tabla 5.5** Registro de tiempo y calidad del Estudio A referentes a la ejecución de los *personal sketches* de las figuras basadas en la esfera de la sección 1.

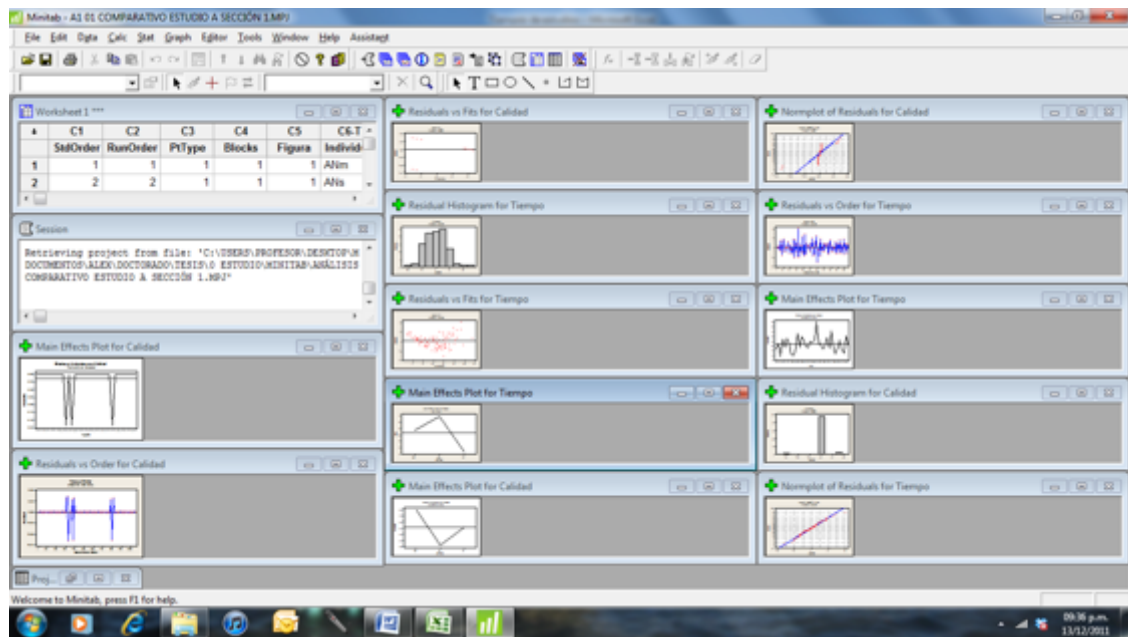
No.	Figura	Individuo	Tiempo	Calidad	Esfera
1	1	ANm	34	3	
2	1	ANs	61	3	
3	1	AEs	3	3	
4	2	ANm	37	3	
5	2	ANs	87	3	
6	2	AEs	3	3	
7	3	ANm	26	3	
8	3	ANs	24	3	
9	3	AEs	4	3	
10	4	ANm	79	3	
11	4	ANs	71	3	
12	4	AEs	11	3	
13	5	ANm	40	3	
14	5	ANs	63	3	
15	5	AEs	8	3	
16	6	ANm	74	3	
17	6	ANs	82	3	
18	6	AEs	8	3	
19	7	ANm	43	3	
20	7	ANs	77	3	
21	7	AEs	8	3	

El formato mostrado en la tabla 5.5 se realizó en Excel y se utilizó para ingresar la información a su respectivo archivo de Minitab<sup>34</sup> (ver figuras 5.26 y 5.27). Es importante mencionar que, para fines estadísticos, a todas las figuras realizadas a mano se les otorgó una calificación de 3 en lo que respecta a calidad.

<sup>34</sup> Un extracto de las gráficas de resultados en Minitab pueden ser consultados en el **Anexo 3: Ejemplo de gráficas de Minitab para Análisis 1 de Estudio A**.



**Figura 5.26** Imagen de archivo en Minitab del Estudio A Sección 1 utilizado para el Análisis 1.



**Figura 5.27** Imagen del archivo completo de Minitab correspondiente al Estudio A sección 1, utilizado para el Análisis 1.

## 5.4 Análisis de los resultados del experimento

Con base a los diferentes del experimento (ver tabla 5.1) se realizaron tres análisis de los resultados. A continuación se detallan cada uno de ellos:

El análisis 1 realiza un comparativo de tiempo-calidad entre el *personal sketch* realizado a mano por el novato, la reproducción del mismo *sketch* en el programa computacional por parte del novato y la reproducción por parte del experto. Para lo anterior, y como puede observarse en la tabla 4.6, se definió una nomenclatura para definir a los diferentes actores del estudio y la interface de trabajo (manual y *software*), la cual será utilizada para los diferentes análisis de los resultados. Esta nomenclatura se compone de tres letras: la primera representa el estudio (A, B o C); la segunda indica si se trata del novato o el experto (N o E); la última, escrita en minúscula, se relaciona con la etapa dibujada manualmente o por medio del *software* correspondiente (m o s). Por ejemplo: **ANm** nos indica que se trata de las secciones dibujadas manualmente por el novato del estudio A.

**Tabla 5.6** Nomenclatura para análisis de resultados del estudio.

Sujeto/Estudio	Estudio A SketchBook Pro	Estudio B SketchUp	Estudio C Illustrator
Novato bocetado manual	ANm	BNm	CNm
Novato en <i>software</i>	ANs	BNs	CNs
Experto en <i>software</i>	AEs	BEs	CEs

Tomando como base la tabla 5.6, podemos decir que el análisis 1 consiste en la comparación de tiempo-calidad por cada estudio (análisis vertical). Es decir, en lo que respecta al estudio A el análisis comprende lo siguiente: **ANm vs. ANs vs. AEs**

El análisis 1 pretende dar respuesta a dos de las preguntas de investigación planteadas anteriormente: ¿Qué tan similares serán los resultados de eficiencia (tiempo y calidad) obtenidos entre los diferentes programas computacionales? En el caso de los estudiantes de diseño (novatos), ¿en qué porcentaje aumentará el tiempo de ejecución y disminuirá la fidelidad de copiado en la reproducción de *personal sketches* en programas computacionales, esto en comparación con los expertos?

El análisis 2, por su cuenta, consideró comparar el tiempo-calidad entre los tres novatos en cada una de las etapas (manual y *software*), así como a los tres expertos en el *software* (análisis horizontal). Por ejemplo: **ANm vs. BNm vs. CNm**.

La intención de este análisis es encontrar el programa computacional en el que se ejecutan de manera más rápida y con la mejor calidad los *personal sketches*. El hecho de que no existan diferencias significativas, entre las diferentes figuras y propuestas de tetera realizadas por los diseñadores novatos, nos permite realizar este comparativo.

Por último, el análisis 3 tuvo como finalidad comparar el tiempo-calidad en la representación de figuras y propuestas de diseño, realizadas por el mismo experto en *software* bajo dos condiciones diferentes: En la primera ocasión se le pidió que realizara el ejercicio “desde cero” y en una sesión posterior de trabajo, se le pidió que replicara los *personal sketches* realizados por el novato correspondientes al Estudio A (esto sólo se aplicó al experto en SketchBook Pro).

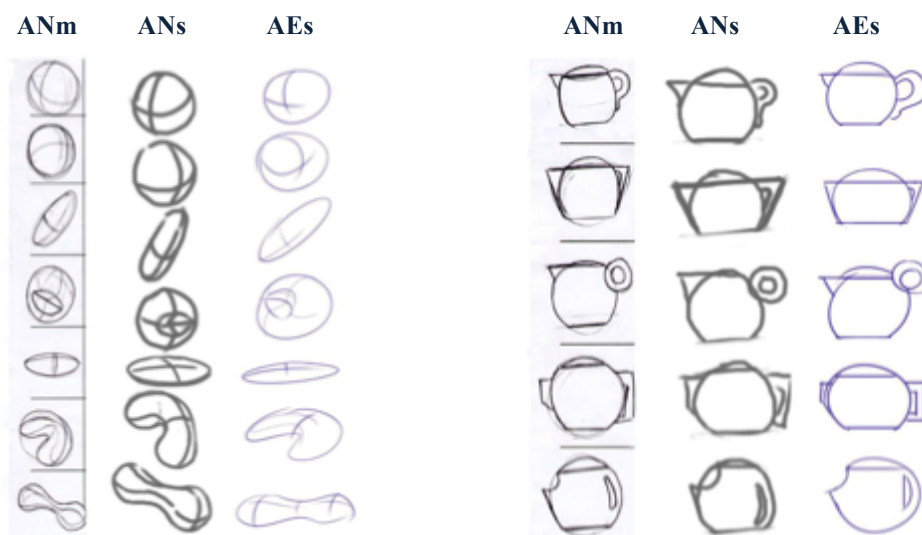
La información obtenida por este análisis podría ayudarnos a responder la tercera pregunta de investigación:

¿Es igual de rápida y con la misma calidad la reproducción de *personal sketches* en un programa computacional con una interface similar a la del *sketching*, que la representación por medio del bocetado manual?

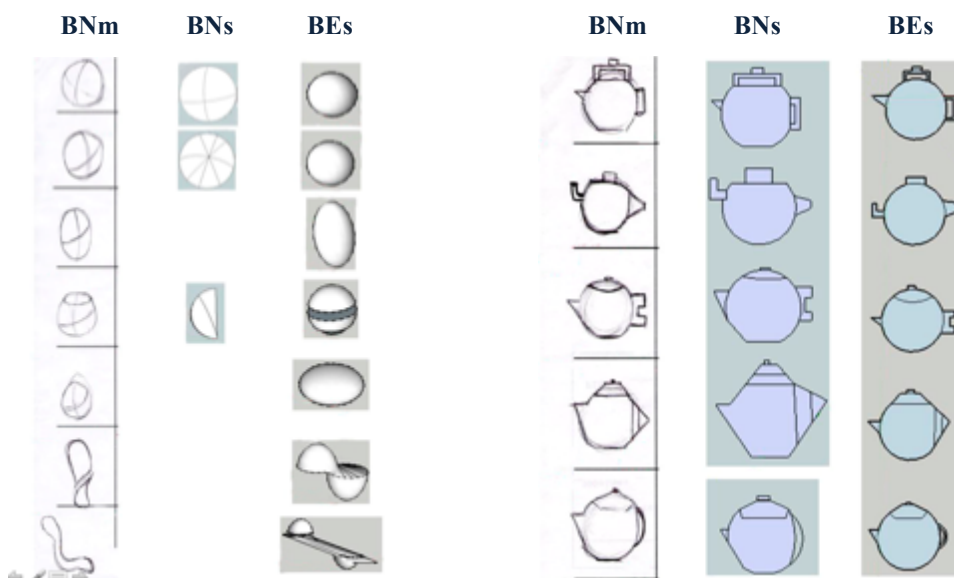
A continuación se presentarán los principales resultados de cada uno de estos análisis:

### 5.4.1 Análisis 1: Comparativo entre novato y experto en cada Estudio (A, B y C)

Para la realización de este análisis fue preciso, además del registro de los tiempos, la recopilación de los diferentes *sketches* y concentrarlos en un solo archivo de Power Point<sup>35</sup>. A continuación se mostrarán algunos de estos *sketches* de este concentrado para el Análisis 1 (figuras 5.28 a 5.35).

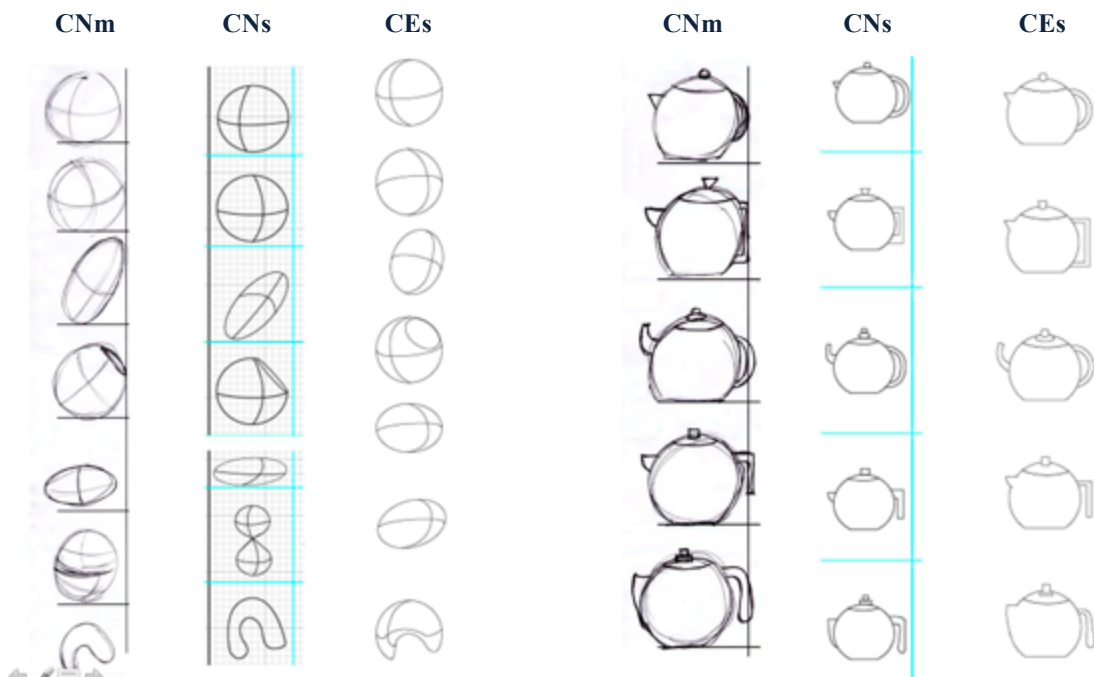


Figuras 5.28 y 5.29 Comparativos de Estudio A: Segmentos de secciones 1 y 2 respectivamente.

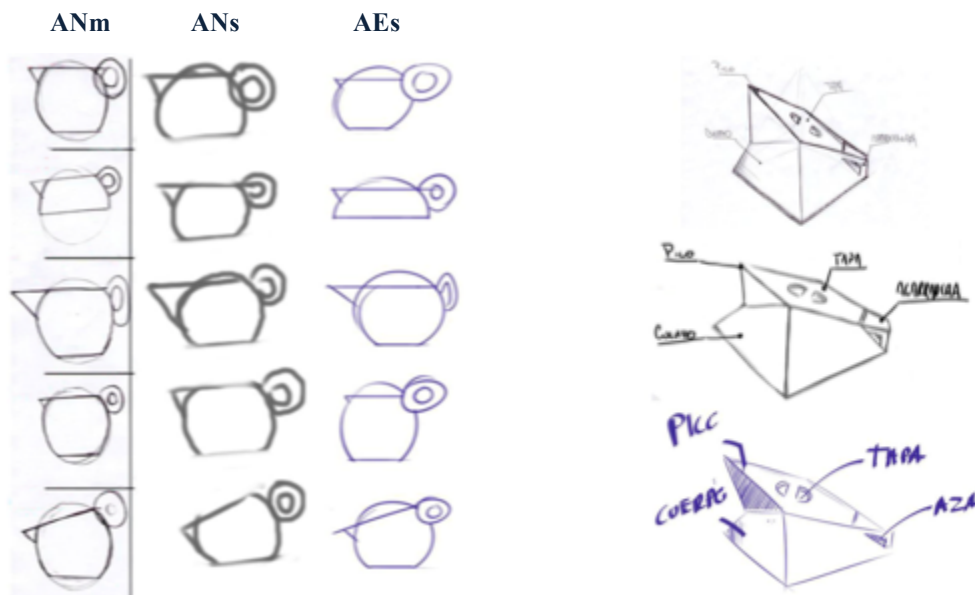


Figuras 5.30 y 5.31 Comparativo de Estudio B: Segmentos de secciones 1 y 2 respectivamente.

<sup>35</sup> La totalidad de los concentrados en Power Point se encuentran en **Anexo 4: Concentrados de figuras para Análisis 1-2-3**.



**Figuras 5.32 y 5.33** Comparativo de Estudio C: Segmentos de secciones 1 y 2 respectivamente.



**Figuras 5.34 y 5.35** Comparativos de Estudio A: segmentos de sección 3 y 4 respectivamente (de arriba abajo: novato manual, novato en *software* y experto en *software*).

Por su parte, los resultados de los promedios de tiempo (en segundos) y calidad de los Estudios A, B y C se pueden observar en las tablas 5.7, 5.8 y 5.9<sup>36</sup>:

**Tabla 5.7** Promedios de tiempo y calidad del Estudio A.

<b>Estudio A SketchBook Pro</b>					
<b>Tabla de promedios de Tiempo/Calidad</b>					
		<b>Sección 1</b>	<b>Sección 2</b>	<b>Sección 3</b>	<b>Sección 4</b>
<b>Promedio de Tiempo</b>	<b>ANm</b>	46.7	41.8	26.9	453
	<b>ANs</b>	69.7	27.9	21.2	641
	<b>AEs</b>	13.1	18.9	17.9	112
<b>Promedio de Calidad</b>	<b>ANm</b>	3	3	3	3
	<b>ANs</b>	2.86	2.64	2.60	3
	<b>AEs</b>	2.97	2.92	2.95	3

**Tabla 5.8** Promedios de tiempo y calidad del Estudio B.

<b>Estudio B SketchUp</b>					
<b>Tabla de promedios de Tiempo/Calidad</b>					
		<b>Sección 1</b>	<b>Sección 2</b>	<b>Sección 3</b>	<b>Sección 4</b>
<b>Promedio de Tiempo</b>	<b>BNm</b>	30	40.6	23.8	487
	<b>BNs</b>	151.3	151.3	100.8	1934
	<b>BEs</b>	47.3	39.6	26.6	888
<b>Promedio de Calidad</b>	<b>BNm</b>	3	3	3	3
	<b>BNs</b>	2.72	2.76	3	1
	<b>BEs</b>	2.46	2.88	2.80	3

**Tabla 5.9** Promedios de tiempo y calidad del Estudio C.

<b>Estudio C Illustrator</b>					
<b>Tabla de promedios de Tiempo/Calidad</b>					
		<b>Sección 1</b>	<b>Sección 2</b>	<b>Sección 3</b>	<b>Sección 4</b>
<b>Promedio de Tiempo</b>	<b>CNm</b>	19.4	32.9	25.3	580
	<b>CNs</b>	110.5	65	52.6	4044
	<b>CNs</b>	20.9	78.2	49.3	1085
<b>Promedio de Calidad</b>	<b>CNm</b>	3	3	3	3
	<b>CNs</b>	2.93	2.88	2.9	3
	<b>CEs</b>	2.8	2.84	2.85	3

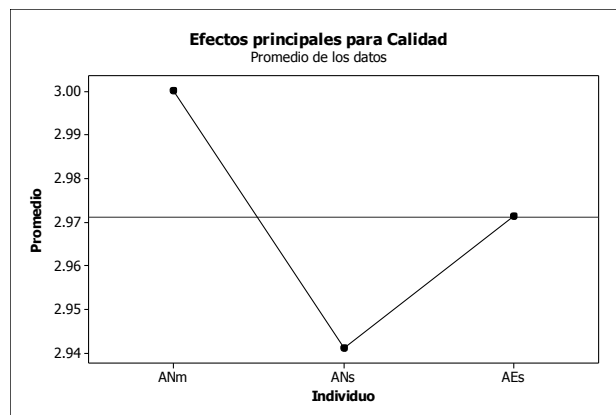
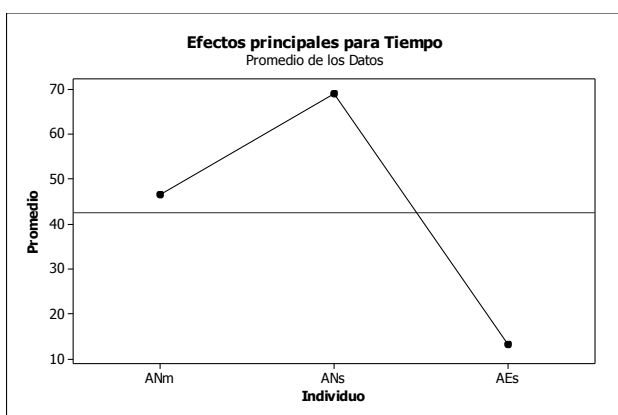
<sup>36</sup> Para la obtención de estos promedios se consideraron solo las figuras realizadas. En el caso de la sección 4 se trató solo de un *sketch* (perspectiva de la propuesta final de tetera).

La siguiente Tabla 5.10<sup>37</sup> revela los siguientes resultados generales con relación al tiempo y calidad.

**Tabla 5.10** Promedios, porcentajes y factores de tiempo-calidad en la realización de *sketches*.

Promedios-Factores/Estudio	Estudio A SketchBook Pro	Estudio B SketchUp	Estudio C Illustrator
Promedio de tiempo (en segundos) en realización de <i>sketches</i> en novatos (a mano)	142.1	145.4	164.4
Promedio de tiempo (en segundos) en copiado de <i>sketches</i> en novatos (en <i>software</i> )	190	584.4	1068
Promedio de tiempo (en segundos) en el copiado de <i>sketches</i> en expertos (en <i>software</i> )	40.5	250.4	308.4
<b>Porcentaje de tiempos de realización en <i>software</i> (novatos vs. expertos)</b>	<b>+ 369%</b>	<b>+ 133%</b>	<b>+ 246%</b>
Factor de eficiencia <sup>38</sup> en tiempo en novatos	1.34	4.02	6.5
Factor de eficiencia en tiempo de expertos	0.29	1.72	1.88
Promedio de calidad en el copiado de <i>sketches</i> en novatos	2.78	2.37	2.93
Promedio de calidad en el copiado de <i>sketches</i> en expertos	2.96	2.79	2.87
<b>Porcentaje de calidad de realización en <i>software</i> (novatos vs. expertos)</b>	<b>- 0.06%</b>	<b>- 0.15%</b>	<b>+ 0.02%</b>

Por otro lado, las siguientes gráficas de Minitab (figuras 5.36 y 5.37) muestran las diferencias entre el tiempo y calidad de realización de los *sketches* en el Estudio A.



**Figuras 5.36 y 5.37** Gráficas de promedios de tiempo y calidad del Estudio A Sección 1.

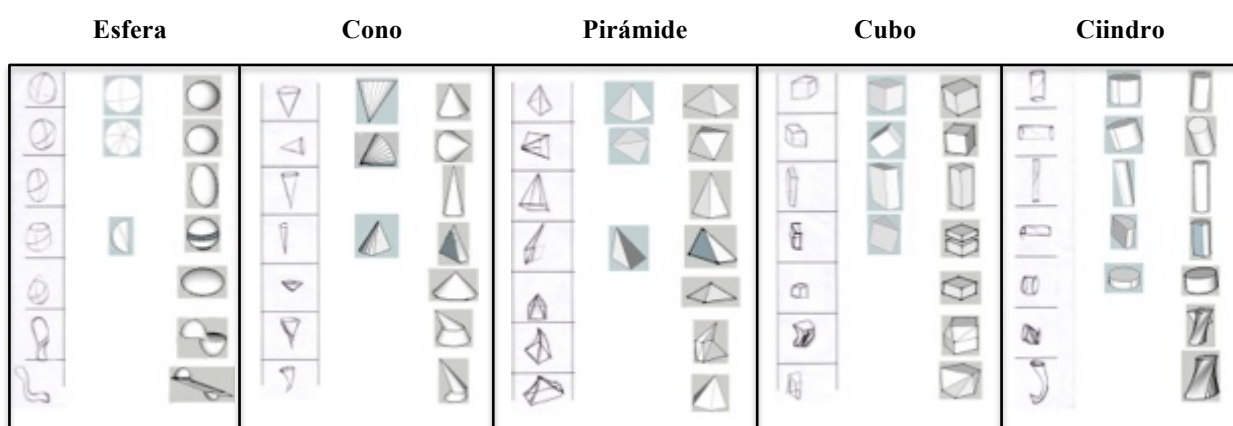
<sup>37</sup> Estos promedios se obtuvieron con base en los resultados mostrados en las tablas 5.7, 5.8 y 5.9.

<sup>38</sup> Este factor de eficiencia se consideró dividiendo el tiempo empleado en realizar los *sketches* a mano entre el tiempo empleado en realizarlos en el *software*.



En el Estudio C podemos apreciar que, si bien el novato ocupó más de tres veces de tiempo en representar sus *sketches* con respecto al experto, en cuanto a la calidad podemos afirmar que la representación de sus *sketches* se realizó con mayor fidelidad. Esto pudiera explicarse considerando que el novato hizo mayor énfasis en copiar-representar sus *sketches*, aunque esto fuera en detrimento del tiempo.

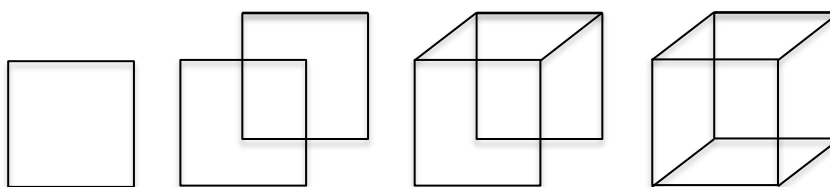
Por otro lado, en la realización de este análisis se observó que el novato del Estudio B tuvo las mayores dificultades para la reproducción de los *sketches* en la Sección 1, esto con el *software* SketchUp. Esto puede claramente observarse en la figura 5.38 (columna de en medio de cada figura geométrica).



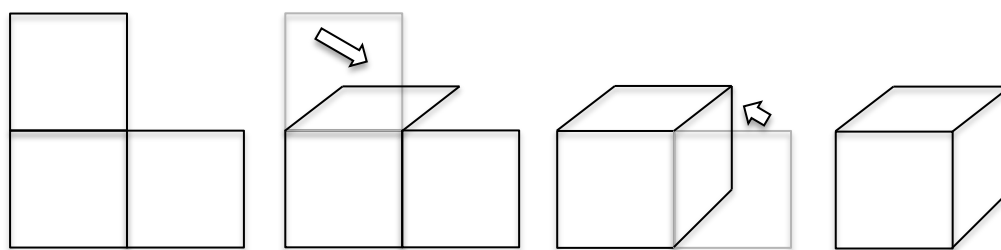
**Figura 5.38** Concentrado de Sección 1 del Estudio B.

Lo anterior se puede explicar si se considera que el alumno no tiene el suficiente dominio del *software*, tanto en lo que respecta a las diferentes herramientas para realizar las respectivas figuras, como en lo referente a la navegación (recordando que el ambiente de trabajo en SketchUp es tridimensional).

En el Estudio C, además de lo mencionado anteriormente, pudimos observar diferencias significativas en la manera en cómo se representaba un cubo en el *software* Illustrator, esto por parte del novato y el experto. Lo anterior puede observarse en las figuras 5.39 y 5.40:



**Fig. 5.40** Simulación paso a paso de la representación de un cubo en Illustrator por parte del novato.



**Fig. 5.40** Simulación de la representación de un cubo en Illustrator por parte del experto.

Esta diferencia de representación podría explicarse si consideramos que la finalidad del novato era representar un cubo y se basó en los pasos más comunes para elaborarlo<sup>39</sup>. En lo que respecta al experto en Illustrator, este podría haber aprovechado su mayor conocimiento de las capacidades del *software* para representar al cubo de esa manera. Por cierto, tanto el novato como el experto, ocuparon exactamente el mismo tiempo para realizar esta figura: 31 segundos.

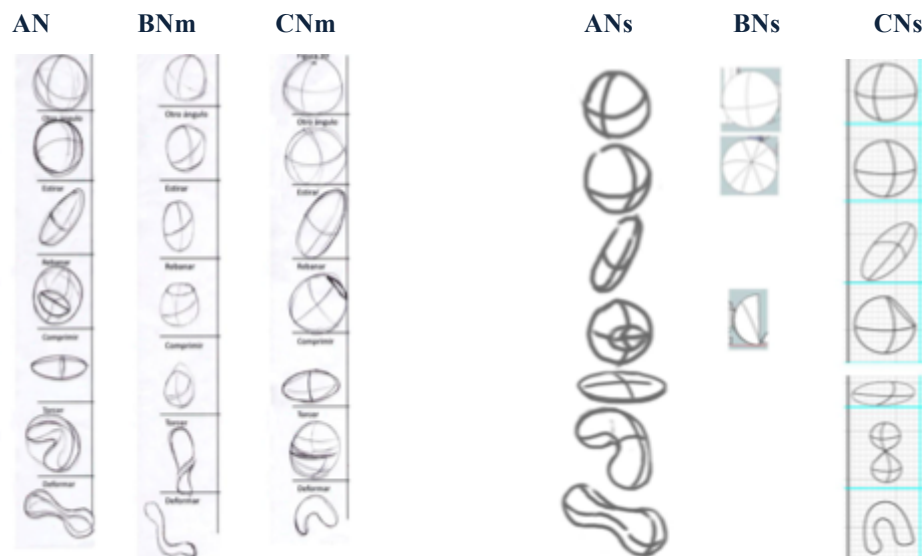
También en el Estudio C se pudo observar que el novato realizó la sección 2 de este estudio con un promedio de tiempo menor que el experto (ver tabla Tabla 5.9). Esto se debió a que el novato aprovechó al máximo la opción de *copy/paste*, como una medida de ahorro de tiempo (y esfuerzo). En el caso del experto se pudo observar que, en términos generales, el dibujo de cada figura la realizaba “desde cero”, utilizando la opción de copiar/pegar en mínimas ocasiones.

A continuación se presentan los resultados del Análisis 2.

<sup>39</sup> Es importante mencionar que no se le solicitó expresamente al novato que dibujara el cubo con transparencia.

## 5.4.2 Análisis 2: Comparativo entre Estudios A, B y C

A continuación se presentan algunos *sketches* contemplados en el concentrado de dibujos para el Análisis 2 (figuras 5.41 a 5.43).



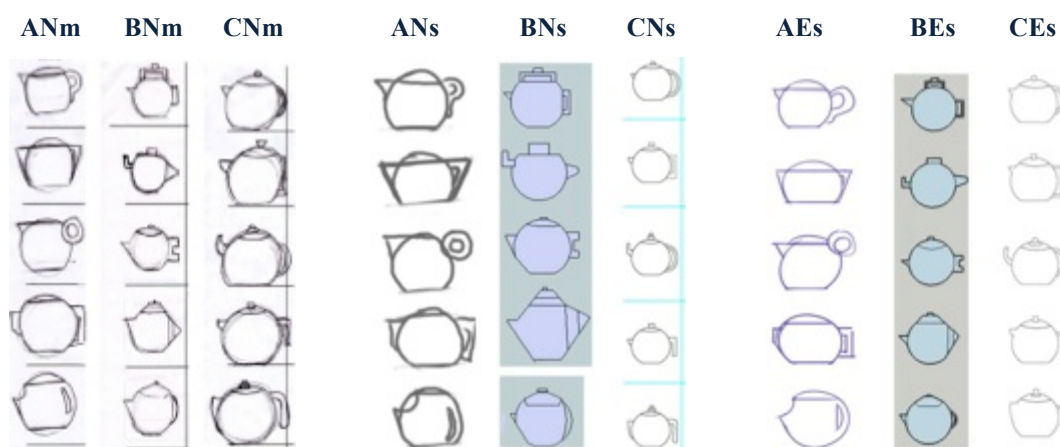
**Figuras 5.41 y 5.42** Comparativos de Estudios A-B-C: segmentos de secciones 1 y 5 respectivamente.



**Figura 5.43** Comparativos de Estudios A-B-C segmentos de sección 6.

Tal como se mencionó anteriormente, la intención de este análisis es encontrar el programa computacional en el que se ejecutan de manera más rápida, y con la mejor calidad, los *personal sketches* realizados en primera instancia por los novatos. Lo anterior es posible debido a que las figuras dibujadas

por estos últimos cuentan con un alto grado de similitud/equivalencia. Esto se puede observarse claramente en la figura 5.44<sup>40</sup>.



**Fig. 5.44** Segmentos del Concentrado de figuras para Análisis 2 (*sketches* realizados a mano y en *software*).

Por otro lado, a continuación se presenta la tabla 5.11, comparando promedios de tiempos y calidad:

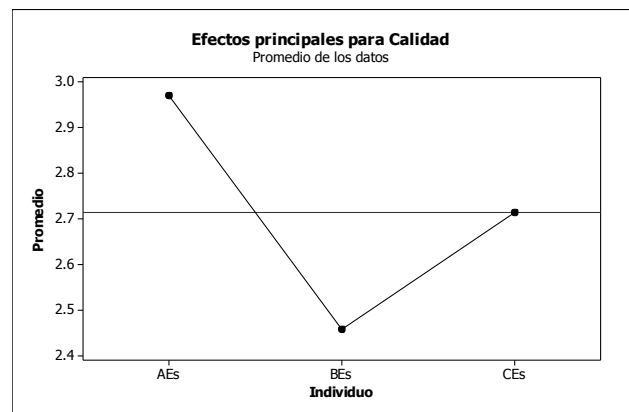
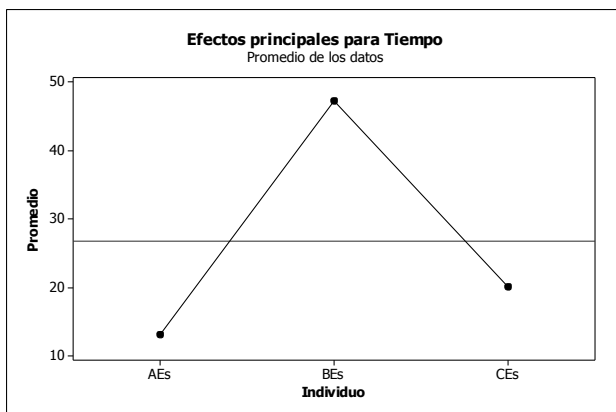
**Tabla 5.11** Promedios de tiempo y calidad de novatos y expertos en los diferentes programas computacionales.

<b><i>Software</i>/Promedios</b>	<b>Promedio de tiempo (en segundos) de realización de figuras (novatos y expertos)</b>	<b>Promedio de calidad de realización de figuras (novatos y expertos)</b>
<b>SketchBook Pro</b>	115.3	2.87
<b>SketchUp</b>	417.4	2.58
<b>Illustrator</b>	688.2	2.90

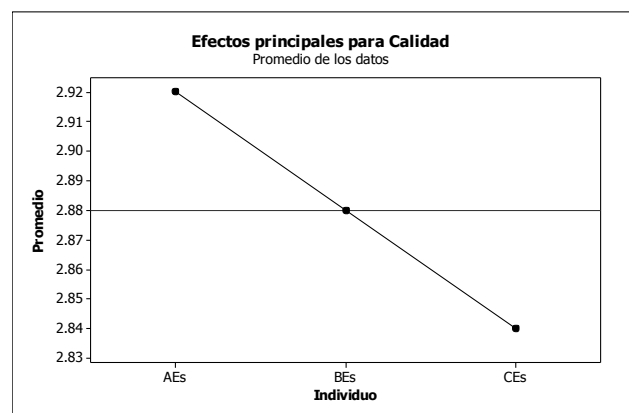
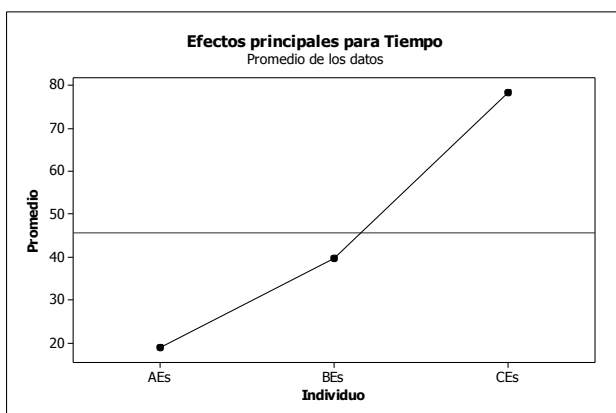
Con base a esta tabla podemos afirmar que SketchBook Pro es el programa computacional que permite la realización de *sketches* de manera más rápida. También podemos afirmar que la mejor calidad de reproducción se presentó en Illustrator, aunque el tiempo ocupado para dicho fin fue casi seis veces más que lo requerido en SketchBook Pro.

Por otra parte, las siguientes gráficas de Minitab (figuras 5.45 a 5.50) muestran de manera más clara las diferencias entre los promedios de tiempo y calidad de realización de los *sketches*, por parte de los expertos, en los diferentes programas computacionales (secciones 1, 2 y 3).

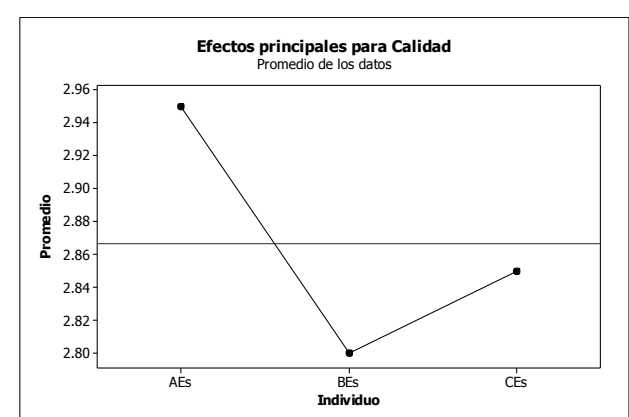
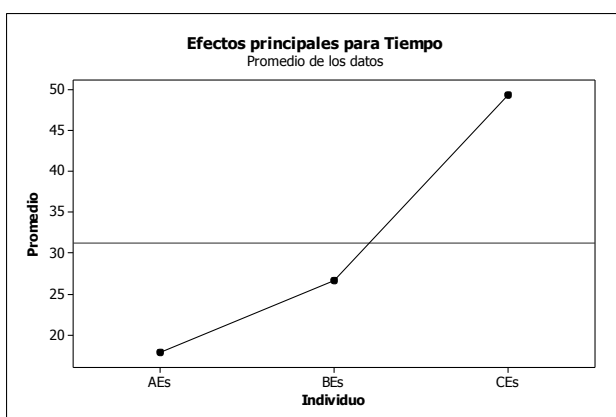
<sup>40</sup> En esta figura podemos observar, de izquierda a derecha, los *sketches* realizados a mano, los realizados en *software* por los novatos y los realizados en *software* por los expertos.



Figuras 5.45 y 5.46 Gráficas de promedios de tiempo y calidad de expertos de Estudios A-B-C en Sección 1.



Figuras 5.47 y 5.48 Gráficas de promedios de tiempo y calidad de expertos de Estudios A-B-C en Sección 2.



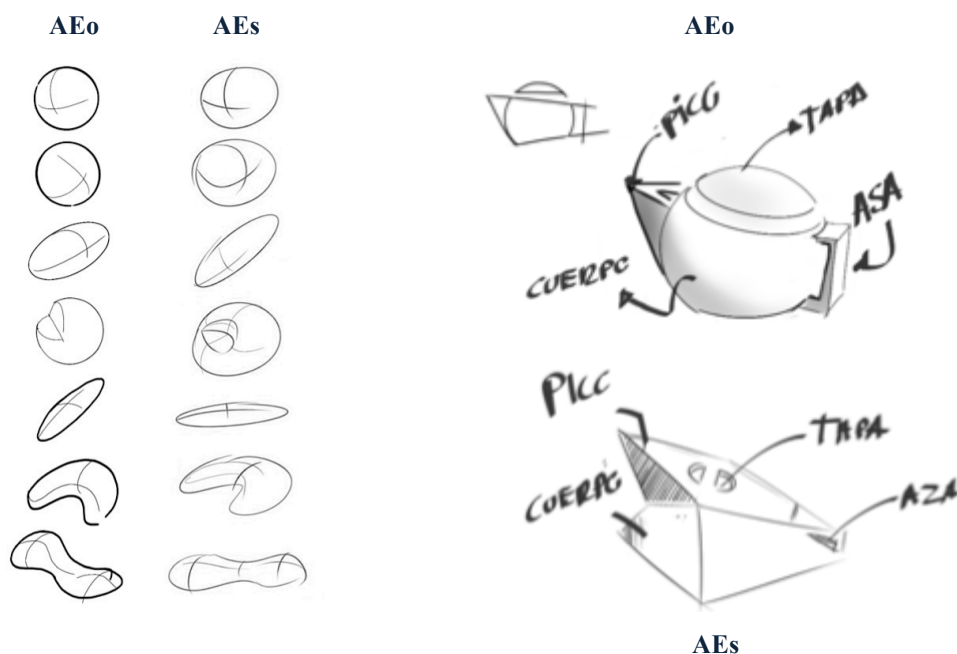
Figuras 5.49 y 5.50 Gráficas de promedios de tiempo y calidad de expertos de Estudios A-B-C en Sección 3.

A continuación se presentarán los resultados del Análisis 3.

### 5.4.3 Análisis 3: Comparativo de experto en Estudios A y O

Para la realización del presente análisis se consideraron los *sketches* realizados por el mismo experto bajo dos circunstancias distintas: Primero se le solicitó que realizara el ejercicio (denominado Estudio O) directamente en SketchBook Pro y sin pasar por la etapa de *sketching* manual. En una sesión posterior se le pidió que replicara los *personal sketches* realizados por el novato del Estudio A. Cabe recordar que lo anterior solo se le pidió al experto en SketchBook Pro.

En el presente análisis también se recurrió a un concentrado de los dibujos hechos en el *software* SketchBook Pro (ver Anexo 4: Concentrados de figuras para Análisis 1-2-3). A continuación se mostrarán imágenes de los *sketches* realizados por el mismo experto (figuras 5.51 y 5.52).



**Figuras 5.51 y 5.52** Comparativos de experto en SketchBook Pro: segmentos de secciones 1 y 4 respectivamente.

En la figura 5.51 se aprecian los *sketches* realizados “desde cero” (columna izquierda) y los copiados del novato (columna derecha). Asimismo, en la figura 5.52 se aprecia la propuesta diseñada en la parte superior y en la parte inferior la réplica de la realizada por el novato.

En este análisis comparamos los tiempos requeridos para la elaboración de cada uno de los *sketches*. A continuación se presenta la tabla 5.12 con los resultados de los tiempos para el Análisis 3:

**Tabla 5.12** Resultados de tiempos para Análisis 3.

	<b>Experto en SketchBook Pro Estudio A (reproducción)</b>	<b>Experto en SketchBook Pro Estudio O (original)</b>
Promedio de tiempo (en segundos) en la elaboración de figuras en Sección 1	13.1	16.7
Tiempo total de Sección 1 (en segundos)	674	1228
Promedio de tiempo (en segundos) en la elaboración de figuras en Sección 2	18.9	36.6
Tiempo total de Sección 2 (en segundos)	675	1330
Promedio de tiempo (en segundos) en la elaboración de figuras en Sección 3	17.9	34.9
Tiempo total de Sección 3 (en segundos)	564	1129
Tiempo en Sección 4 (en segundos)	112	537
<b>Promedio de tiempo (en segundos) en la elaboración de figuras en todas las secciones</b>	<b>40.5</b>	<b>156</b>
<b>Tiempo total del estudio (en segundos)</b>	<b>2025</b>	<b>4225</b>

Con base a los resultados de la Tabla 5.12 podemos observar lo siguiente:

- En primer lugar podemos observar que el experto ocupó 28% más de tiempo (en promedio) en la elaboración de figuras en la Sección 1, esto con respecto a la copia de los realizados por el novato en el Estudio A. Por otro lado, en la elaboración de las figuras de las Secciones 2 y 3 se puede observar que el experto ocupó prácticamente el doble de tiempo. Lo anterior pudiera explicarse si consideramos que las figuras a realizar en la Sección 1 tuvieron un menor grado de complejidad con respecto a las Secciones 2 y 3.
- Por su parte, el tiempo de realización de la Sección 4 del Estudio O ocupó 3.8 veces más de tiempo con respecto al Estudio A. Esto podría ser resultado de que el experto realizó el *sketch* con calidad de línea y efectos de sobreado difuminado, a diferencia de la copia del realizado por el novato (sin calidad de línea ni sombreado ashurado).
- Otro factor que influyó para que el experto ocupara mayor tiempo en la realización de sus *sketches* originales, en comparación a los copiados, es el hecho de que existe una actividad mental al mismo tiempo que se realiza el *sketch*: la acción mental de diseño es acompañada de la acción de dibujar. Lo anterior podría explicar porque una misma persona ocupa mayor tiempo en realizar *sketches* originales en comparación con la copia de *sketches* con una complejidad equivalente (ver Anexo 4: Concentrados de figuras para Análisis 1-2-3).

Por otro lado, la Tabla 5.13 presenta una comparativa de promedios de realización de *sketches* a mano, de los Estudios A, B y C, *versus* la realización de *sketches* directamente en el *software* SketchBook Pro. Esta tabla nos permite apreciar que los promedios de tiempo son muy similares entre los cuatro estudios.

**Tabla 5.13** Comparativa de promedios de figuras en los diferentes estudios.

Estudio A (sketches a mano)	Estudio B (sketches a mano)	Estudio C (sketches a mano)	Estudio O (sketches en <i>software</i> )
142.1	145.4	164.4	156

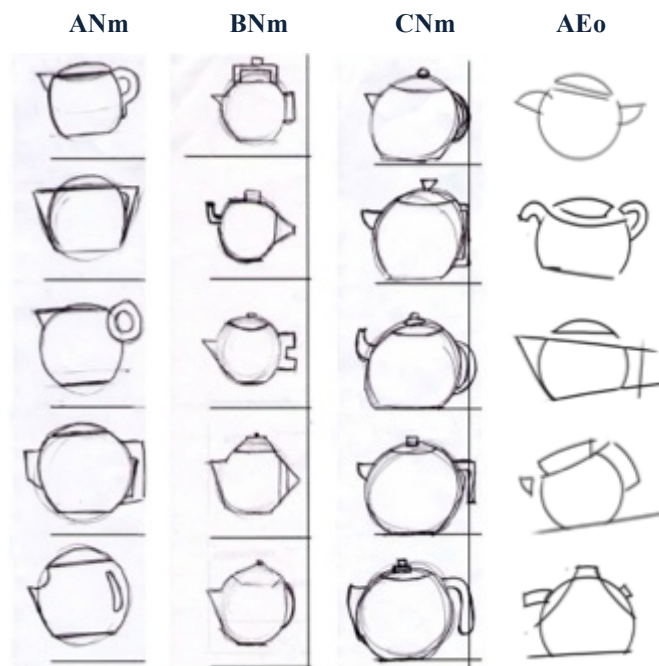
**Nota:** Los promedios de tiempos se expresan en segundos.

En lo que respecta a calidad, no se realizó una evaluación comparativa entre los diferentes estudios, pero podemos observar que los sketches realizados por el experto en *software* tienen una mejor calidad de trazo que los realizados por los novatos (es importante mencionar que el experto en SketchBook Pro se apoyó en una plantilla para dibujar círculos y aún así ocupó tiempos similares para la elaboración de los diferentes *sketches*). Esto es posible observarse las figuras 5.53 y 5.54.



**Figura 5.53** Comparativo de figuras realizadas por los novatos y el experto en SketchBook Pro en la Sección 1.





**Figura 5.54** Comparativo de figuras realizadas por los novatos y el experto en SketchBook Pro en la Sección 2.

#### 5.4.4 Análisis global de los resultados

Con base en los resultados de los diferentes análisis, se pudo demostrar que el *software* SketchBook Pro apoya de mejor manera los procesos de representación de las primeras ideas en la etapa creativa. Esto es posible precisamente porque, en comparación con Illustrator y SketchUp, SketchBook Pro permite realizar de manera eficiente el bocetado o *sketching*, mediante la libre manipulación de un instrumento de dibujo.

Por su parte, y como ya se ha comentado, el *software* SketchUp se perfila como una herramienta interesante para representar objetos y construcciones en 3D. Pero es esta posibilidad de representación/visualización tridimensional es lo que limita a este programa computacional a la comunicación de las ideas y no a la generación de las mismas. También es importante recordar que esta herramienta computacional está enfocada al diseño arquitectónico y que por su naturaleza “constructora” apoya de manera limitada a la labor del diseñador de producto (de naturaleza “modeladora”).

En el caso de Illustrator podemos afirmar que es un *software* con mayores posibilidades de uso que SketchUp en lo que concierne a la generación y representación de las primeras ideas en la etapa creativa. Illustrator es, sin duda, un programa computacional que permite la representación de casi cualquier figura, aunque los tiempos de ejecución son considerablemente mayores a los utilizados en SketchBook Pro (ver tabla 5.11 y figuras 5.46, 5.48 y 5.50). Recordemos que uno de los principales atributos del *sketch* es la rapidez de ejecución (Buxton, 2007), lo cual permite el libre flujo de ideas (Ohira, 1995).

En el siguiente capítulo se presentarán las conclusiones finales de esta investigación, así como recomendaciones generales.

# Capítulo VI: Observaciones finales y recomendaciones

## 6.1 Observaciones de la investigación

A continuación se presentan las observaciones de la investigación:

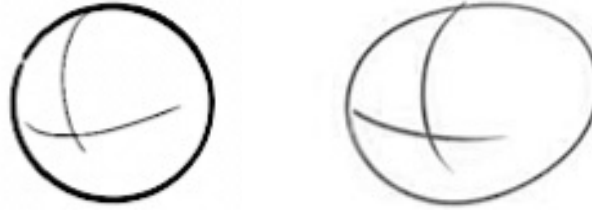
Se puede afirmar que se cumplió con el objetivo general planteado en el Capítulo I (página 12), pues la investigación realizada demostró las razones por las cuales ciertas herramientas tecnológicas pueden soportar la etapa creativa del proceso de diseño de producto.

### 6.1.1 Características y atributos de herramientas tecnológicas que apoyan la etapa creativa

Con base en el estudio realizado, y en concordancia con la pregunta y objetivo generales de la investigación, podemos afirmar que existen una serie de características y atributos que permiten que estas herramientas sean eficientes para la representación y desarrollo de las primeras ideas en la etapa creativa del proceso de diseño de producto. A continuación se presentan cada una de ellas:

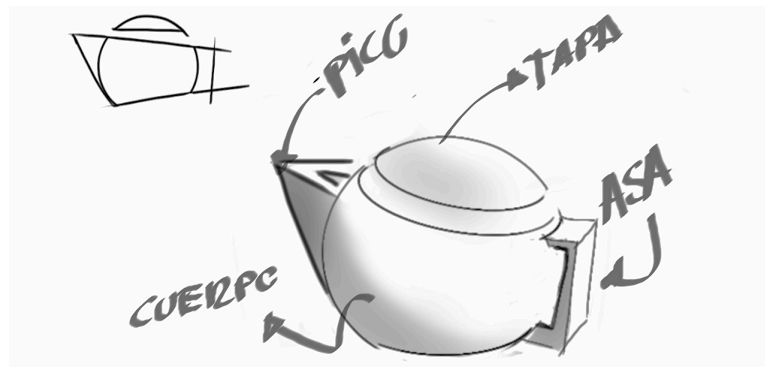
- **Libre trazo.** La posibilidad de realizar figuras con libre trazo es, sin duda, una de las características más importantes. Esto debido a que el libre trazo de formas, así como la rapidez de ejecución, son dos de los principales atributos de los *sketches* (ver Atributos del *sketch*, página 43). Es importante mencionar que para hacer posible el libre trazo de formas, y sin medición alguna, se requiere de un dispositivo de entrada específico, como es el caso de la tableta Wacom (ver figura 2.16). Este dispositivo de entrada cuenta con una superficie de trabajo y una pluma especial que, además de permitir la escritura y el trazo libre sin medición, cuenta con botones que funcionan igual que los que se encuentran en un *mouse*. Es importante recordar que existen dispositivos de procesamiento en los cuales puedes dibujar directamente en la pantalla con el apoyo de un utensilio de escritura, como es el caso de la Cintiq 24HD (ver página 59) o directamente con los dedos, tal y como sucede con las *tablets*.

- **Utilización de plantillas.** También es importante la capacidad de realizar cualquier figura geométrica de manera “perfecta”, esto con el apoyo de la herramienta del *software* que emula una plantilla. En la figura 6.1 pueden observarse dos círculos trazados en SketchBook pro, el primero trazado con una plantilla (y con calidad de línea), y el segundo sin el uso de una plantilla. El uso de plantillas es importante para elaborar *sketches* con una mejor presentación.



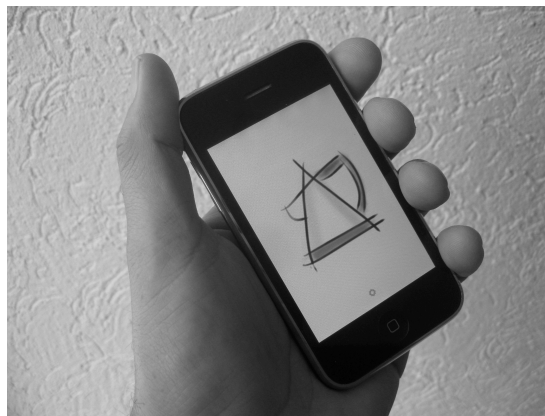
**Figura 6.1** Círculos trazados en SketchBook Pro con y sin plantilla respectivamente.

- **Calidad de línea.** La posibilidad de aplicar calidad de línea (ver figura 6.1) permite realizar bocetos más elaborados, como es el caso del *explanatory sketch*.
- **Posibilidad de agregar textos.** Esto permite el mejor entendimiento en el momento de compartir las primeras propuestas de diseño. La incorporación de textos es característico del *memory sketch*, el *referential sketch* y el *explanatory sketch* (ver páginas 37-38).
- **Posibilidad de colorear y sombrear.** Esta característica, sumada a los anteriores atributos, permite que en el programa computacional se puedan realizar toda la gama de los *sketches*. La figura 6.2 muestra un *sketch* con sombras y textos realizado en SketchBook Pro.



**Figura 6.2** *Sketch* con aplicación de sombras y textos.

- **Posibilidad de realizar *copy/paste*.** Esta característica permite una mayor velocidad en la generación de transformaciones verticales.
- **Posibilidad de realizar representaciones abstractas.** Los mapas mentales y diagramas son un apoyo importante para estimular la búsqueda de las primeras soluciones.
- **Posibilidad de utilizarse en dispositivos de procesamiento móviles.** Esta posibilidad a dado pie a que el papel y lápiz puedan ser reemplazados por dispositivos como *smartphones* y tabletas.



**Figura 6.3** *Sketch* realizado en SketchBook Pro para iPhone.

- **Posibilidad de utilizar diferentes capas de dibujo o *layers*.** Esto permite “calcar” figuras y objetos, así como esconder o hacer visibles anotaciones, texturas y coloraciones, entre otros.
- **Posibilidad de dibujar/compartir *sketches* en tiempo real con otros actores del proceso de diseño.** Esta característica reduce tiempos en el proceso de diseño, al permitir una mayor fluidez en el trabajo colectivo.
- **Posibilidad de ejecutar *sketches* con rapidez.** Es importante mencionar que más allá de la capacidad de representación de figuras con alto grado de abstracción, como lo permiten los programas estudiados, la rapidez de ejecución es punto clave para el libre flujo de ideas.
- **Versatilidad.** La herramienta tecnológica debe ser capaz de ejecutar los diferentes tipo de *sketches* (ver clasificación de los *sketches* y dibujos en página 34).

### 6.1.2 Características y condiciones de herramientas tecnológicas que entorpecen la etapa creativa

Sin duda los recursos antes mencionados apoyan el libre flujo de ideas y la ejecución de *sketches*. Ahora es preciso mencionar que existen características en los programas computacionales que entorpecen la representación y desarrollo de las primeras ideas en la etapa creativa del proceso de diseño. A continuación se mencionan algunas de ellas:

- **Representación tridimensional.** Como ya se ha mencionado anteriormente, la representación tridimensional no es la mejor forma de aterrizar las primeras ideas. Esto debido a que se cohibe la reinterpretación de lo previamente dibujado, elemento esencial para la generación de nuevas ideas. Por otra parte, el ambiente de trabajo tridimensional puede complicar la representación<sup>41</sup> y la generación de las primeras propuestas de diseño.
- **Imposibilidad de libre trazo.** Aunque el programa computacional cuente con diferentes herramientas para el trazo de geometrías (círculos, elipses, cuadrados, rectángulos, triángulos, etc.), el tiempo que se consume en cambiar las diferentes herramientas entorpece el libre flujo de ideas. Además de que no es necesario que los primeros *sketches* cuenten con trazos bien definidos y con calidad de línea perfecta.
- **Utilización del *mouse*.** Es importante mencionar que el uso del *mouse*, como dispositivo de entrada, dificulta la realización de trazos libres con soltura. Por otro lado, el *mouse* tiene la ventaja de contar con un botón para acceder a menús y herramientas de un programa computacional, pero esta función también la puede ejercer la pluma de la tableta Wacom, la cual también cuenta con un botón para acceder a menús de herramientas en programas como SketchBook Pro.

Por otra parte, y en lo que respecta a los objetivos específicos, podemos mencionar que en el Capítulo III se identificaron las Representaciones Visuales de Diseño en 2 y 3 dimensiones, las principales propiedades y características del *sketch*. Asimismo, en el Capítulo IV se clasificaron e identificaron las principales herramientas tecnológicas utilizadas en el proceso de diseño de producto, haciendo énfasis en aquellas que pueden ser utilizadas en la etapa creativa. En el Capítulo V, por último, se presenta el instrumento desarrollado para analizar las capacidades y limitaciones de programas computacionales seleccionados.

---

<sup>41</sup> Esto pudo observarse en el novato al copiar sus *sketches* en SketchUp (Estudio B).

## 6.2 Observaciones y recomendaciones del estudio

El objetivo de este apartado es presentar las observaciones y recomendaciones generales del estudio con relación a los objetivos y a las preguntas planteadas.

En lo referente a la pregunta general del estudio, podemos afirmar es posible medir la eficiencia de ciertas herramientas tecnológicas en lo referente a la elaboración de *sketches*, lo anterior en términos de rapidez de ejecución (tiempo) y la fidelidad de copiado (calidad). A este respecto es importante mencionar que el instrumento permitió aislar, convenientemente para su observación, la función de dibujar de la de pensar. Esto permitió realizar un registro y procesamiento de los datos de manera adecuada y con la atención centrada en las posibilidades de representación. Los diferentes análisis realizados a los resultados del estudio permitieron identificar las diferentes capacidades y limitaciones de los programas computacionales seleccionados, lo anterior en lo relacionado a la representación de formas con alto grado de abstracción, utilizadas en la etapa creativa del proceso de diseño.

Es innegable que ha sido grande el reto de elaborar los planteamientos metodológicos para estudiar el fenómeno, y aún cuando es perfectible, se considera que el diseño del experimento es un buen punto de partida para investigaciones a futuro. En este sentido, las recomendaciones generales para experimentos posteriores consisten en lo siguiente:

1. Lograr condiciones de trabajo iguales para los sujetos de estudio (por ejemplo: utilizar el mismo espacio y mismo horario, en completo silencio y sin permitir escuchar música). Asimismo, intentar controlar al máximo las interrupciones y el cansancio de los sujetos, pues esto causaría la invalidación interna del estudio.
2. Incorporar programas computacionales como Paint, CorelDRAW. Estos programas, de características similares a Sketchbook Pro e Illustrator respectivamente, sin duda permitirían obtener resultados más enriquecedores. Lo anterior debido a que, al incorporar un mayor número de programas computacionales similares, se podrán observar diferencias más puntuales y específicas entre ellos.

3. Considerar mayores variantes en cuanto a los dispositivos de procesamiento (dispositivos móviles como el iPad y el iPhone).
4. Medir la eficiencia de un programa computacional considerando el uso de diferentes dispositivos de entrada (por ejemplo tableta Wacom, *mouse* y *touchpad*).
5. Incorporar la medición de los tiempos de actividad mental de diseño, descubriendo de manera más evidente si la interface en cuestión favorece/inhíbe la generación de propuestas de diseño, esto con respecto al *sketching* sobre papel.
6. Con base en la experiencia del Análisis 3, solicitar al experto en el *software* que realice sus figuras sin calidad de línea y sin uso de plantillas. Esto reduciría los tiempos de ejecución de los *sketches* originales, lo cual repercutiría en una mayor validez de los resultados.
7. Incorporar, en la medida de lo posible, los componentes faltantes del *sketching*: visión y procesamiento mental (capacidad de reinterpretación y reprocesamiento de lo ya dibujado).
8. Por último, considerar únicamente la participación de diseñadores de producto, esto debido a que los diseñadores gráficos y los arquitectos tienen otra forma de concebir/dirigir su proceso de diseño.

Dado el carácter exploratorio del estudio, así como las limitaciones para contemplar una muestra más amplia, los resultados obtenidos no pueden ser concluyentes. Sin embargo, el estudio realizado permitió obtener valiosas observaciones de carácter metodológico para seguir adelante en esta línea de investigación.

En cuanto a las preguntas específicas del estudio, a continuación se presentan las respuestas a cada una de ellas:



**¿Qué tan similares serán los resultados de tiempo y calidad obtenidos entre los diferentes programas computacionales?** Se observó gran disparidad en los tiempos de ejecución, pues existió una diferencia de 236% entre el Estudio A (SketchBook Pro) y el Estudio B (SketchUp), con menor y mayor tiempo respectivamente. Lo anterior se explica debido a que SketchBook Pro, al emular el trazo libre de *sketching* a mano alzada, permite la representación de los *sketches* en un menor tiempo, esto en comparación con los otros dos programas computacionales, los cuales requieren del uso del *mouse* y de diferentes herramientas de dibujo para realizar un sólo *sketch*. En cuanto a la calidad, se observaron mínimas diferencias (0.17%) entre el Estudio B y el Estudio C (Illustrator), con menor y mayor calidad respectivamente. Esto puede explicarse si se considera que los sujetos del estudio dieron mayor énfasis en la calidad de reproducción y no en el tiempo de ejecución de los diferentes *sketches*. Otro factor es el hecho de que las figuras a reproducirse tenían una base geométrica y en términos generales eran de baja complejidad.

**En el caso de los estudiantes de diseño (novatos), ¿en qué porcentaje aumentará el tiempo de ejecución y disminuirá la fidelidad de copiado en la reproducción de *personal sketches* en programas computacionales, esto en comparación con los expertos?** La Tabla 5.10 (página 90) nos muestra que el aumento en los promedios de los tiempos fue de la siguiente manera: 369% en el caso de SketchBook Pro (Estudio A), 133% en el caso de SketchUp (Estudio B) y 246% en el caso de Illustrator (Estudio C). Las diferencias entre los tiempos podrían explicarse si se considera que existe una diferencia entre los niveles de *expertise* entre los novatos y los expertos en cada programa computacional. Es decir, los resultados de tiempo podrían ser un indicador de las diferencias de nivel de dominio, entre el novato y el experto, en cada herramienta tecnológica.

En cuanto a la calidad, los porcentajes de disminución de la misma fueron los siguientes: - 0.06% en el caso del Estudio A, - 0.15% en el Estudio B, presentándose un aumento de + 0.02 % en el Estudio C. Es importante mencionar que el novato del Estudio C, si bien obtuvo una mejor evaluación de calidad de reproducción de *sketches*, esto con respecto al experto, ocupó más de tres veces de tiempo en realizarlos. Estas diferencias tan mínimas pueden tener su explicación, tal y como ya se mencionó, en la baja complejidad de las figuras a reproducir.

**¿Es igual de rápida y con la misma calidad la reproducción de *personal sketches* en un programa computacional con una interface similar a la del *sketching*, que la representación por medio del bocetado manual?** La respuesta es sí y esto puede observarse claramente en la Tabla 5.13

(página 98), en donde se aprecia que el experto en SketchBook Pro ocupó menos tiempo en realizar sus *sketches* originales (Estudio O), esto en comparación con los elaborados a mano por el novato del Estudio C (una diferencia de 8.4 segundos en promedio). Estos resultados podrían demostrar que el experto en SketchBook Pro tiene un gran dominio del programa computacional y del *sketching* como tal. Sería interesante que este experto realizara el mismo ejercicio, pero ahora con papel y lápiz, esto con la intención de poder comparar sus desempeños con o sin el uso de la herramienta tecnológica.

Con base en los resultados de los diferentes análisis, podemos afirmar que el *software* SketchBook Pro puede ser una herramienta eficaz en la etapa creativa del proceso de diseño. Esto debido a que emula la interface del *sketching* (libre trazo de líneas mediante la manipulación de un utensilio de dibujo). Es importante recordar que precisamente la posibilidad de representar formas con alto grado de abstracción, permite al diseñador reinterpretar la forma original y desarrollar nuevas alternativas a partir de lo dibujado. Por lo anterior, las representaciones virtuales tridimensionales no son la mejor opción para aterrizar las primeras ideas.

### 6.3 Difusión de los resultados de la investigación

Los primeros hallazgos de la investigación se difundieron a través de dos *papers*: el primero, en la onceava edición de la *International Conference on Engineering and Product Design Education* en la Universidad de Brighton, UK, en Septiembre de 2009, con la presentación del *paper* “*The future of Design Synthesis Education*”; el segundo, en *The First International Conference on Design Creativity* en la ciudad de Kobe, Japón, realizada en Noviembre-Diciembre del 2010 y con la presentación del *paper* “*The Complementary Role of Representations in Design Creativity: Sketches and Models*” (en coautoría con el Dr. Ricardo Sosa Medina y publicado por la editorial Springer). La difusión de los últimos resultados de la investigación también se pretende realizar en foros internacionales y a través de publicaciones indizadas.

Por otro lado, se tiene la intención de comunicar el conocimiento adquirido y desarrollado a lo largo de este trabajo de investigación a la comunidad académica de diseño nacional. Lo anterior por medio de asociaciones como la Academia de Diseño Industrial del Tecnológico de Monterrey y la Asociación Mexicana de Instituciones y Escuelas de Diseño Industrial (DI-Integra).

## 6.4 Trascendencia del tema de investigación

Sin duda será importante seguir investigando acerca de cómo las herramientas tecnológicas apoyan a la generación y representación de propuestas de diseño a través del *sketching*. Pero más importante aún será aplicar el conocimiento adquirido para desarrollar nuevas plataformas tecnológicas que favorezcan el trabajo colectivo, el cual promueve una etapa creativa más dinámica y enriquecedora (Wiltschnig, Christensen & Ball, 2013). Entender cómo los diferentes *software* de diseño, así como los dispositivos de entrada y de procesamiento, propician un verdadero diseño colaborativo a través de la comunicación electrónica.

# Fuentes de información

Acuna, A. (2009). *The future of design synthesis education*. International Conference on Engineering and Product Design Education, 10 & 11 September 2009, University of Brighton, UK.

Acuna, A. & Sosa, R. (2010). *The Complementary Role of Representations in Design Creativity: Sketches and Models*. En Taura, T., Nagai, Y. (Ed.), *Design Creativity* (pp. 265-270) London: Springer.

Aguirre, M. (2004). *Diseño: Conocer y Crear. Modelo para el Diseño de Objetos Basado en la Interacción de Procedimientos Racionales y Creativos*. Tesis de Doctorado en Educación, Universidad La Salle Dirección de Posgrado e Investigación, México.

Aguirre, S. (2013). *Diseño Generativo, el computador como instrumento de creación*. IV Congreso Latinoamericano de enseñanza del diseño, 29, 30 y 31 de julio de 2013, Buenos Aires, Argentina.

Bar-Eli, S. (2013). *Sketching profiles: Awareness to individual differences in sketching as a means of enhancing design solution development*. Design Studies, 34(4), 472–493.

Bilda, Z. & Demirkan, H. (2003). *An insight on designers' sketching activities in traditional versus digital media*, Design Studies, 24(1), 27-50.

Bilda, Z. & Gero, J. S. (2005). *Does sketching off-load visuo-spatial working memory?* Studying designers, 5(2005), 145-160.

Bilda, Z. & Gero, J. S. (2006). *Reasoning with Internal and External Representations: A Case Study with Expert Architects*. Wilkinson Building G04, University of Sydney, 2006 NSW, Australia.

<http://mason.gmu.edu/~jgero/publications/2006/06BildaGeroCogSci.pdf>

Bilda, Z., Gero, J. S., & Purcell, T. (2006). *To sketch or not to sketch? That is the question*. Design studies, 27(5), 587-613.

Brereton, M. (2004). *Distributed Cognition in Engineering Design: Negotiating between abstract and material representations*. En Goldschmidt, G. & Porter, W. (Ed.), *Design Representation*, 1st ed. (pp. 83-103) London: Springer.

Bürdek, B. (2007). *Diseño. Historia, teoría y práctica del diseño industrial (primera edición)*. Editorial Gustavo Gili, SL, Barcelona.

Buxton, B. (2007). *Sketching User Experiences*. Morgan Kaufmann.

Buzan, T., Buzan, B. (1996). *El libro de los mapas mentales: Como utilizar al máximo las capacidades de la mente*. Editorial Urano.

Core elements of Design Thinking (2013). School of Design Thinking, Hasso-Plattner-Institut, Universität Postdam. Recuperado de:

[http://www.hpi.uni-potsdam.de/d\\_school/designthinking/core\\_elements.html?L=1](http://www.hpi.uni-potsdam.de/d_school/designthinking/core_elements.html?L=1)

Ching, F. & Juroszek, S. (1999). *Dibujo y proyecto*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.

Chua, Ch., Leong, K. & Lim, C. (2003). *Rapid Prototyping* (2<sup>nd</sup> edition). World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Company, P., Contero, M., Varley, P., Aleixos, N. & Naya Ferran (2009). *Computer-aided sketching as a tool to promote innovation in the new product development process*, *Computers in Industry*, 60(8), 592-603.

Cheutet, V., Catalano, C.E., Pernot, J. P., Falcidieno, B., Giannini, F. & Leon, J. C. (2005). *3D sketching for aesthetic design using fully free-form deformation features*, *Computers & Graphics*, 29(6), 916-930.

Christiaans, H. & Dorst, K. (1996). *Analysing design activity*. Chichester Wiley.

Cross, N., Christiaans, H. & Dorst, K. (1996). *Analysing design activity*. Chichester Wiley.

Dolan, K. (2010). *The Future by design*. Forbes [en línea]. 14 de junio de 2010. [fecha de consulta: 12 noviembre 2013]. Disponible en:

[http://www.forbes.com/2010/06/14/architecture-graphic-industrial-technology-future-design-10\\_land.html](http://www.forbes.com/2010/06/14/architecture-graphic-industrial-technology-future-design-10_land.html)

Evans, M.A., Pei, E. & Campbell, R.I. (2009). *Extending Sketches, Drawing, Models and Prototypes to Define a Taxonomy of 35 Design Representations for Improved Communication during New Product Development*. International Conference 23-26 September 2009, Miami, USA

<http://www.eujinpei.com/Eujin%20Pei%20Paper%201%20IDSA%20Miami.pdf>

Finke, R. & Freyd, J. (1994). *Imagery*. In R. Stenberg (Ed.) *Encyclopedia of Intelligence* (pp. 561-563). New York: Macmillan Publishing Company.

Fish, J. (2004). *Cognitive Catalysis: Sketches for a Time-lagged Brain*. In Goldschmidt, G. & Porter, W. (ed.), *Design Representation (1st ed.)*. London: Springer (pp. 151-182).

Gebhardt, A. (2003). *Rapid Prototyping*. Hanser Gardner Publications, Inc.

Goel, V. (1995). *Sketches of thought*. MIT Press, Cambridge MA.

Gross, M. D., & Do, E. Y. L. (2004). *Three R's of Drawing and Design Computation*. In *Design Computing and Cognition '04* (pp. 613-632). Springer Netherlands.

Gutiérrez, H. & De la Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill, México.

Hannah, B. (2004). *Becoming a Product Designer*. John Wiley & Sons, Inc.

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2008). *Metodología de la investigación (cuarta edición)*. McGraw-Hill Interamericana, México.

Ibrahim, R. & Rahimian, F. P. (2010). *Comparison of CAD and manual sketching tools for teaching architectural design*. *Automation in Construction*, 19(8), 978-987.

Kavakli, M. & Gero, J. S. (2001). *Sketching as Mental Imagery Processing*. Design Studies, 22(4), 347-364. <http://web.arch.usyd.edu.au/~john/DESC9099-imagery-sketching.ppt>

ICSID-International Council of Societies of Industrial Design (2010). Definition of Design. Recuperado de: <http://www.icsid.org/about/about/articles31.htm>

Kavakli, M., & Gero, J. S. (2002). *The structure of concurrent cognitive actions: a case study on novice and expert designers*. Design Studies, 23(1), 25-40.

Kavakli, M. & Gero, J. S. (2003). *Strategic knowledge differences between an expert and a novice designer*. En Linderman, U. *Human behaviour in design. Individuals, teams, tools*. Springer.

Laseau, P. (2004). *Freehand sketching. An Introduction*, W. W. Norton & Company, Inc., New York.

Lawson, B. (1997). *How Designers Think, The Design Process Demystified*. Architectural Press, London.

Lim, S., Qin, S. F., Prieto, P., Wright, D. & Shackleton, J. (2004). *A study of sketching behaviour to support free-form surface modelling from on-line sketching*, Design Studies, 25(4), 393-413.

Masry, M., Kang, D. & Lipson, H. (2005). *A freehand sketching interface for progressive construction of 3D objects*, Computers & Graphics, 29(4), 563-575.

Oh, J., Stuerzlinger, W. & Danahy, J. (2005). *Comparing SESAME and Sketching on paper for conceptual 3D Design*. Eurographics Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling.

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.66.9398&rep=rep1&type=pdf>

Oh, J., Stuerzlinger, W. & Danahy, J. (2006). *SESAME: towards better 3D conceptual design systems*. DIS '06 Proceedings of the 6th conference on Designing Interactive Systems. Association for Computing Machinery. New York.

Ohira, T. (1995). *Computer Designics*. Graphic-sha Publishing.

Olofsson, E. & Sjöblén, K. (2007). *Design Sketching*. Keeos.

Pipes, A. (1989). *El diseño tridimensional del boceto a la pantalla*. Ed. Gustavo Gili, Barcelona.

Pipes, A. (2008). *Dibujo para diseñadores*. Blume, Barcelona.

Prats, M. & Garner, S. (2006). *Observations on ambiguity in design sketches*. Tracey the online journal of contemporary drawing research.

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.66.9398&rep=rep1&type=pdf>

Prats, M., Lim, S., Jowers, I., Garner, S. & Chase, S., (2009). *Transforming shape in design: observations from studies of sketching*, Design Studies, 30(5), 503,520.

Purcell, A. & Gero, J. S. (1998). *Drawings and the design process: A review of protocol studies in design and other disciplines and related research in cognitive psychology*. Design Studies, 19(4), 389–430.

Rahimian, F. P. & Ibrahim, R. (2011). *Impacts of VR 3D sketching on novice designers' spatial cognition in collaborative conceptual architectural design*. Design Studies, 32(3), 255-291.

Rahman, N., Cheng, R. & Bayerl, P. S. (2013). *Synchronous versus asynchronous manipulation of 2D-objects in distributed design collaborations: Implications for the support of distributed team processes*. Design Studies, 34(3), 406-431.

Rodríguez, L. (2005). *Los esquemas para la configuración de la forma. Las rutas del diseño. Ensayos sobre teoría y práctica*. Colección temas, Editorial Designio, México.

Salinas, O. (1992). *Historia del diseño industrial (primera edición)*. Editorial Trillas, México.

Steps of a Design Thinking Process (2013) The K12 Lab Wiki. Recuperado de:

<https://dschool.stanford.edu/groups/k12/wiki/17cff/>

Suwa, M., Tversky, B., Gero, J. S., & Purcell, T. (2001). *Seeing into sketches: Regrouping parts encourages new interpretations*. In *Visual and spatial reasoning in design* (pp. 207-219).



Tornincasa, S., & Di Monaco, F. (2010). *The future and the evolution of CAD*. In 14th international research/expert conference: trends in the development of machinery and associated technology, Mediterranean Cruise.

Verstijnen, I. M., van Leeuwen, C., Goldschmidt, G., Hamel, R. & Hennessey, J. M. (1998). *Sketching and creative discovery*. Design Studies, 19(4), 519-546.

Wiltchnig, S., Christensen, B. T., Ball, L. J. (2013). *Collaborative problem–solution co-evolution in creative design*. Design Studies, 34(5), 515-542.

Yilmaz, S. & Seifert, C. M. (2011). *Creativity through design heuristics: A case study of expert product design*. Design Studies, 32(4), 384-415.

## **Sitios web**

IEEE-The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc: <http://www.ieee.org/index.html>

SketchBook Pro: <http://usa.autodesk.com/>

SketchUp: <http://sketchup.google.com/intl/es/>

Wacom: <http://www.wacom.com/index.html>

Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>

## Fotografías y figuras

**Figuras 1.1 y 1.2** Ejemplos de diseño generativo de Ronald Crowe. Referencia:

<http://archinect.com/people/project/4260595/generative-design/35609635>

**Figura 2.4** Ejemplo de brainsketching. Referencia: <http://franziskarecht.com/brainstorming-research-statistics-etc/>

**Figuras 2.10 y 2.11** Aplicación SketchBook Pro en dispositivo móvil iPad, tomado de video en You Tube “Autodesk SketchBook Pro for iPad”. Referencia: <http://www.youtube.com/watch?v=uZ44S17mHO4>

**Figuras 2.14 y 2.15** Inteface e imagen de tutorial del programa computacional SketchUp. Referencia: [http://sketchup.google.com/intl/es/training/videos/expert\\_to\\_gsu.html](http://sketchup.google.com/intl/es/training/videos/expert_to_gsu.html)

**Figura 3.1.** Mapa mental de Química. Referencia:

[www.tricalzeto.wordpress.com](http://www.tricalzeto.wordpress.com)

**Figura 3.2** Ejemplo de mapa conceptual, basado en “La creación de mapas conceptuales en una presentación”. Referencia: <http://manuelgross.bligoo.com/20110806-siete-pasos-para-la-creacion-de-mapas-conceptuales-en-presentaciones>

**Figura 3.14** Ejemplo de *story board*. Referencia: KIA Board

[http://www.sketchartist.tv/storyboards\\_high.html](http://www.sketchartist.tv/storyboards_high.html)

**Figura 3.15** Diagrama de un plano inclinado. Referencia:

<http://www.heurema.com>

**Figura 4.2** Ejemplo de objeto construido en Rhinoceros. Referencia:

<http://www.rhino3dchile.com/wp-content/uploads/2008/01/adidas-suela.JPG>

**Figura 4.3** Ejemplo de objeto construido en Solid Edge. Referencia:

<http://www.rafaela.com/cms/news/ver/27437/12/cursos-solid-edge.html>

**Figura 4.4** Teclado de tela. Referencia: <http://img.xataka.com/2007/02/elektex2caras.jpg>

**Figura 4.5** Logitech *Marble Mouse* con *trackball*. Referencia:  
<http://www.logitech.com/es-mx/mice-pointers/trackballs/devices/156>

**Figuras 4.6 y 4.7** *Magic trackpad* de Apple y los diferentes gestos para realizar un *click*, desplazar, deslizar y girar. Referencia: <http://www.apple.com/es/magicttrackpad/>

**Figuras 4.8 y 4.9** Tableta Cintiq 24HD. Referencias:  
<http://www.wacom.com/en/Products/Cintiq/Cintiq24HD.aspx>  
[http://www.youtube.com/watch?v=79SdxuA1WjY&feature=player\\_detailpage](http://www.youtube.com/watch?v=79SdxuA1WjY&feature=player_detailpage)

**Figura 4.10** Multifuncional Epson WorkForce T42WD. Referencia:  
<http://global.latin.epson.com/Soluciones/Hogar-Y-Oficina/Impresoras-Y-Multifuncion/Trabajo-De-Oficina>

**Figuras 4.11 y 4.12** Brazo digitalizador Microscribe 3D Laser y escáner láser ZScanner 800 de ZCorporation. Referencias:  
<http://www.gomeasure3d.com/video/helmet/helmetstudy.html>  
[http://www.zcorp.com/en/Products/3D-Scanners/ZScannerandtrade\\_800/spage.aspx](http://www.zcorp.com/en/Products/3D-Scanners/ZScannerandtrade_800/spage.aspx)

**Figuras 4.13 y 4.14** *Inkling Digital Sketch Pen* de Wacom. Referencia:  
<http://www.wacom.com/en/Products/Inkling.aspx>

**Figura 4.15** *Mouse* con escáner modelo Smart Scan LMS-100 de la empresa LG. Referencia:  
<http://www.techradar.com/news/computing-components/peripherals/hands-on-lg-lsm-100-smartscan-mouse-review-1016097>

**Figuras 4.16 y 4.17** iMac de Apple y Dell Precision T7500 Tower Workstation. Referencias:  
[http://store.apple.com/mx/browse/home/shop\\_mac/family/imac](http://store.apple.com/mx/browse/home/shop_mac/family/imac)  
<http://www.dell.com/us/business/p/precision-t7500/pd>

**Figura 4.18 y 4.19** Dispositivos de salida 2D: Impresora de tinta Epson Stylus T22 y plóter de tinta.

Referencias:

<http://global.latin.epson.com/Soluciones/Hogar-Y-Oficina/Impresoras-y-multifuncion/Uso-Diario-En-Casa>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%B3ter>

**Figura 4.20** Equipo de prototipado rápido uPrint SE de Stratasys. Referencia:

<http://www.stratasys.com/Products.aspx>

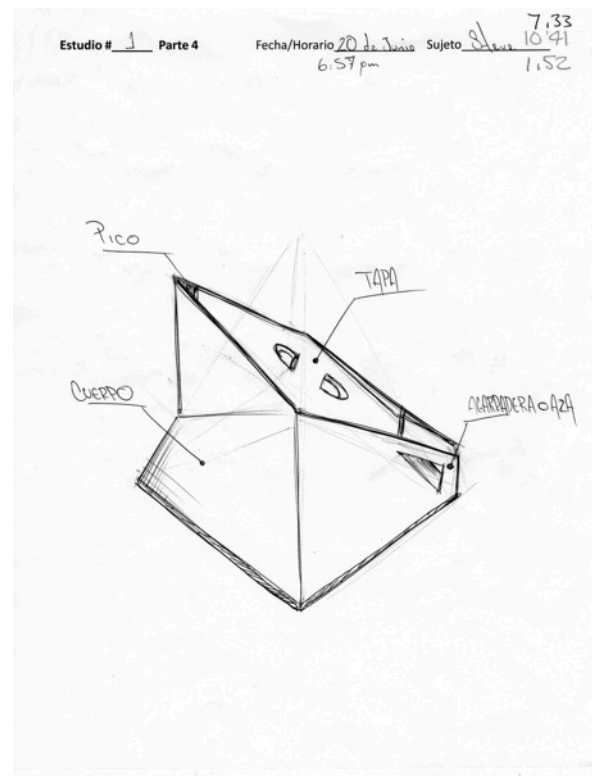
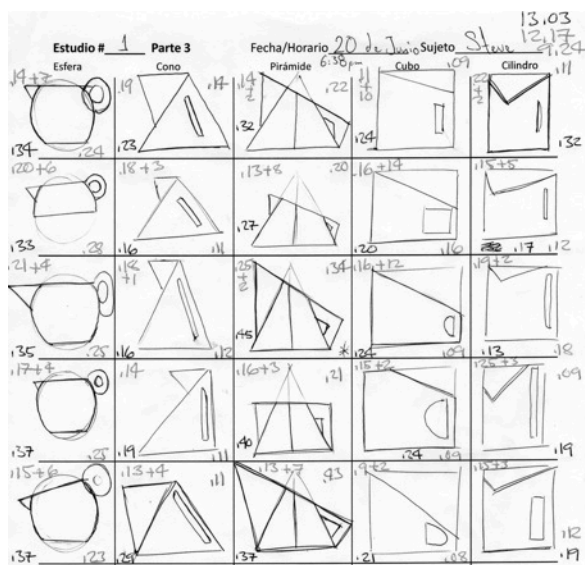
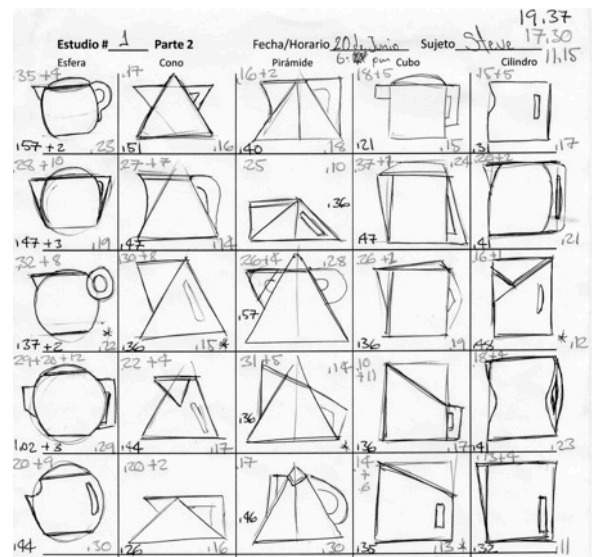
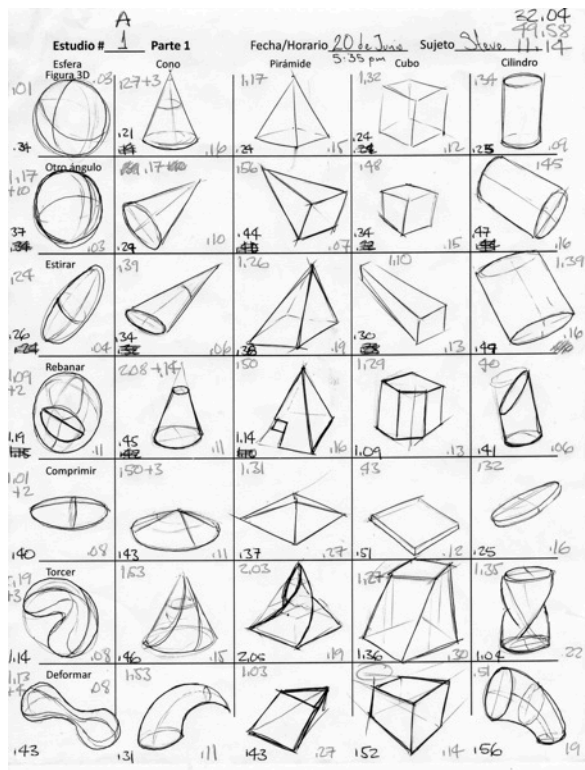
**Figura 4.21** Programa computacional *I Love Sketch*. Referencia:

<http://vimeo.com/1669862> <http://vimeo.com/user725648>

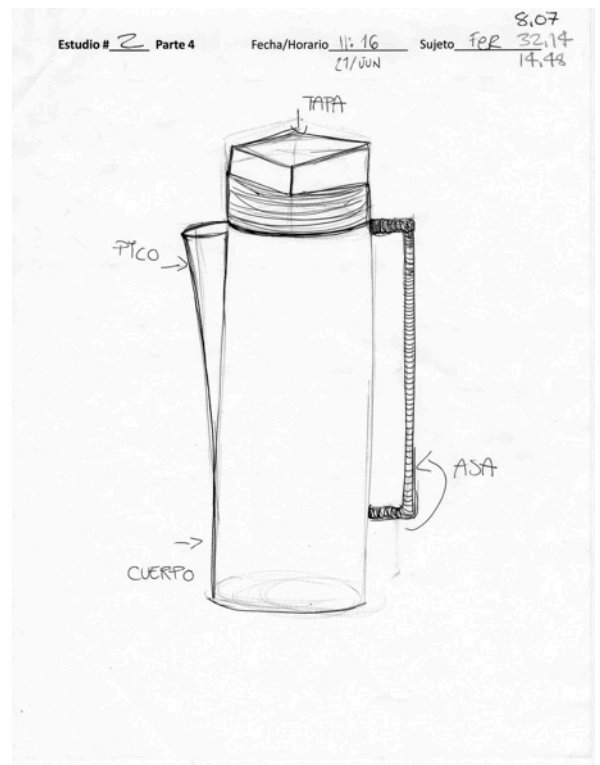
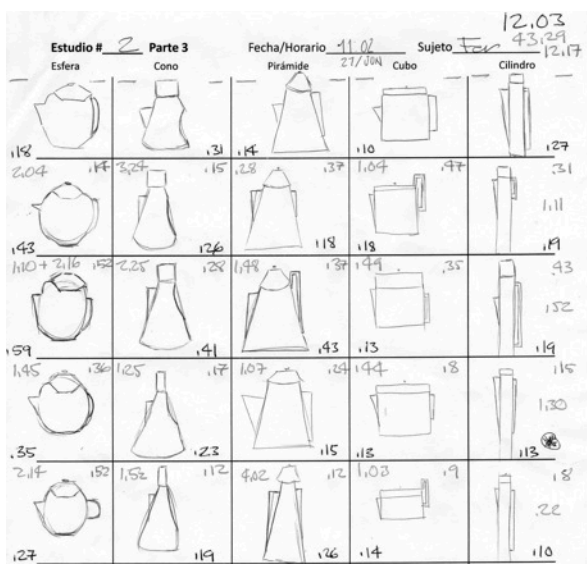
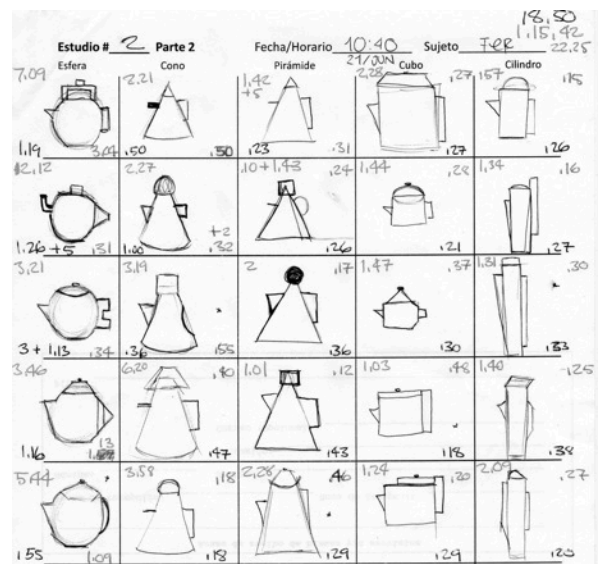
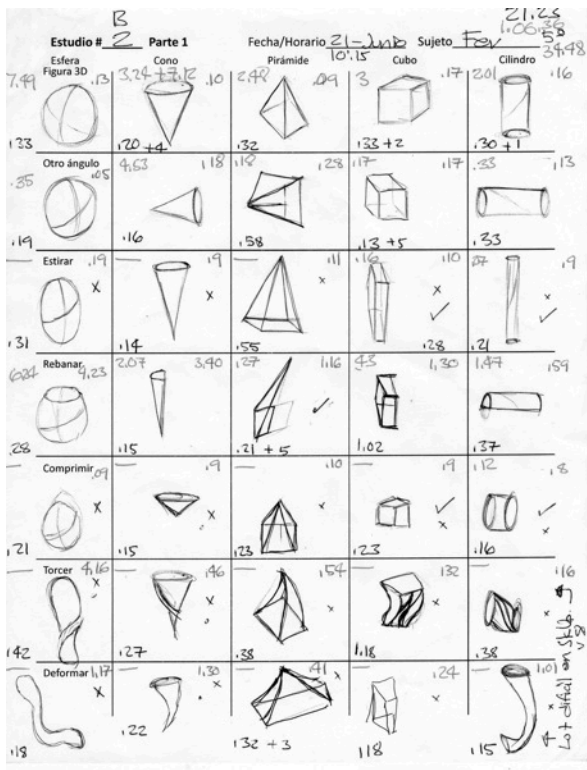
# **Anexo 1: *Personal sketches* de los Estudios A-B-C**

En el presente anexo se presentarán los *personal sketches* realizados por los novatos de los diferentes estudios.

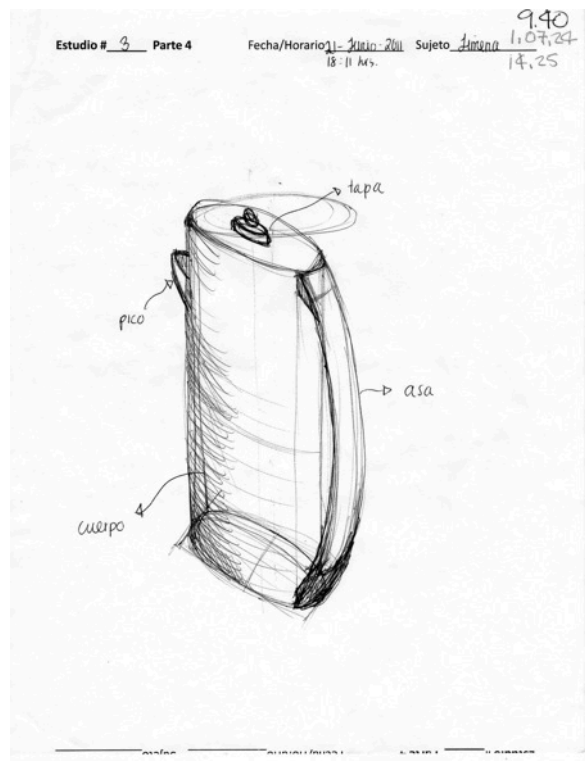
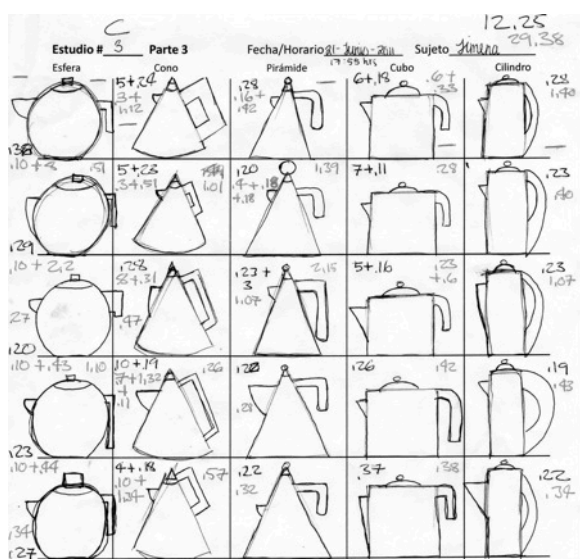
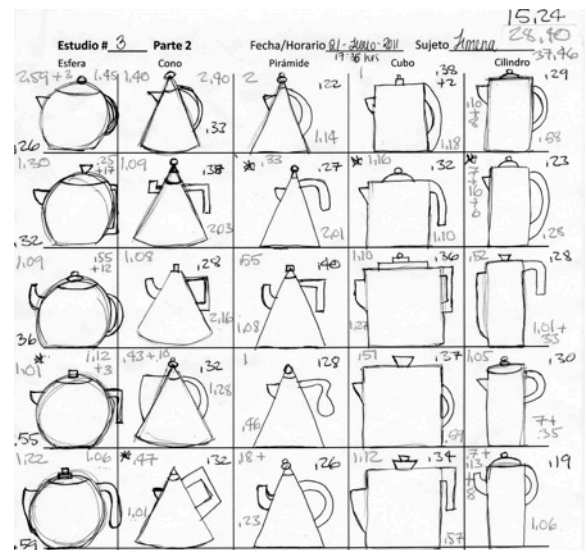
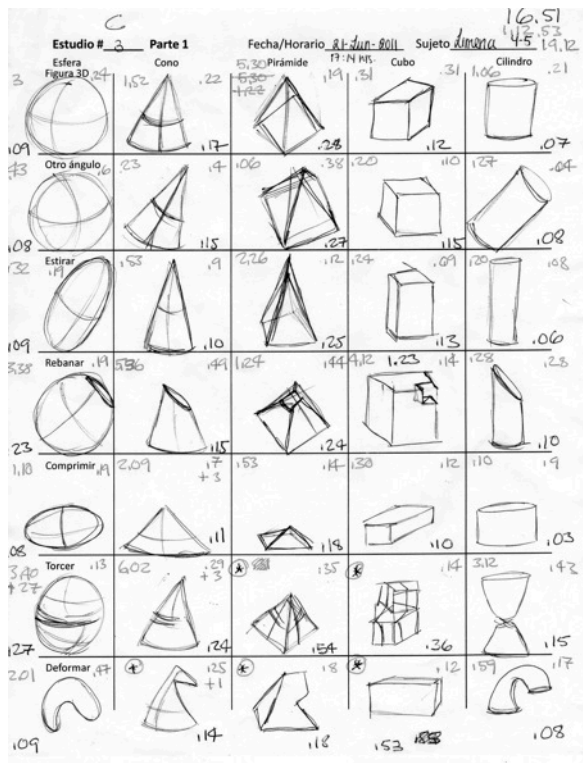
## Personal sketches del Estudio A



## Personal sketches del Estudio B



## Personal sketches del Estudio C





## **Anexo 2: Registro de tiempos de los Estudios A-B-C**

A continuación se presentarán los registros de tiempos ocupados en los diferentes estudios.

## Tiempos de realización de *sketches* en Estudio A

Estudio A Sección 1 SketchBook Pro																				
	Esfera				Cono				Pirámide				Cubo				Cilindro			
	ANm	ANs	AEs		ANm	ANs	AEs		ANm	ANs	AEs		ANm	ANs	AEs		ANm	ANs	AEs	
1	34	61	3	8	21	30	16	15	24	77	15	22	24	92	12	29	25	34	9	25.6
2	37	87	3	9	29	17	10	16	44	56	7	23	34	48	15	30	47	45	16	38.2
3	26	24	4	10	34	39	6	17	38	86	19	24	30	70	13	31	49	99	7	35.4
4	79	71	11	11	45	142	11	18	74	50	16	25	69	89	13	32	41	40	6	61.6
5	40	63	8	12	43	53	11	19	37	91	27	26	51	43	12	33	25	32	16	39.2
6	74	82	8	13	46	113	15	20	125	123	19	27	96	87	30	34	64	95	22	81
7	43	77	8	14	31	113	11	21	43	63	27	28	52		14	35	56	51	19	45
	333	465	45		249	507	80		385	546	130		356	429	109		307	396	95	1630
	47.6	66.4	6.43		35.57	72.4	11.43		55.00	78.0	18.57		50.86	71.5	15.57		43.86	56.6	13.57	46.57
																				294
																				655
																				215
																				0.85
																				0.78
																				0.68

Estudio A Sección 2 SketchBook Pro																				
	Esfera				Cono				Pirámide				Cubo				Cilindro			
	ANm	ANs	AEs		ANm	ANs	AEs		ANm	ANs	AEs		ANm	ANs	AEs		ANm	ANs	AEs	
1	59	39	23	6	51	17	16	11	40	18	18	16	21	23	15	21	31	20	17	40.4
2	50	38	19	7	47	34	14	12	36	25	10	17	47	38	24	22	41	22	21	44.2
3	39	40	22	8	36	38	15	13	57	30	28	18	36	27	19	23	48	17	12	43.2
4	65	61	29	9	44	26	17	14	36	36	14	19	36	21	17	24	41	22	23	44.4
5	44	29	30	10	26	22	16	15	46	17	30	20	35	20	13	25	32	17	11	37
	257	207	123		204	137	78		215	126	100		175	129	88		193	98	84	1044
	51.4	41.4	24.6		40.8	27.4	15.6		43.0	25.2	20.0		35.0	25.8	17.6		38.6	19.6	16.8	41.76
																				133
																				353
																				202
																				0.89
																				0.66
																				0.70

Estudio A Sección 3 SketchBook Pro																				
	Esfera				Cono				Pirámide				Cubo				Cilindro			
	ANm	ANs	AEs		ANm	ANs	AEs		ANm	ANs	AEs		ANm	ANs	AEs		ANm	ANs	AEs	
1	34	21		6	23	19		11	32	16		16	24	21		21	32	24		29.0
2	33	26	28	7	16	21	11	12	27	21	20	17	20	30	16	22	17	20	12	22.6
3	35	25	25	8	16	19	12	13	45	27	34	18	24	28	9	23	13	21	18	26.6
4	37	21	25	9	19	14	11	14	40	19	21	19	24	17	9	24	19	28	9	27.8
5	37	21	23	10	29	17	11	15	37	20	43	20	21	11	8	25	19	18	12	29
	176	114	101		103	90	45		181	103	118		113	107	42		100	111	51	673
	35.2	22.8	20.2		20.6	18.0	9.0		36.2	20.6	23.6		22.6	21.4	8.4		20.0	22.2	10.2	26.92
																				110
																				212
																				207
																				0.86
																				0.71
																				0.63

Estudio A Sección 4 SketchBook Pro																				
ANm							ANs							AEs						
453							641							112						

## Tiempos de realización de *sketches* en Estudio B

Estudio B Sección 1 SketchUp																				
	Esfera				Cono				Pirámide				Cubo				Cilindro			
	BNm	BNs	BEs		BNm	BNs	BEs		BNm	BNs	BEs		BNm	BNs	BEs		BNm	BNs	BEs	
1	33	469	13	8	24	636	10	15	32	168	9	22	35	180	17	29	31	121	16	31.0
2	19	35	5	9	16	293	18	16	58	18	28	23	18	17	17	30	33	33	13	28.8
3	31		19	10	14		9	17	55		11	24	28	16	10	31	21	7	9	29.8
4	28	384	263	11	15	127	220	18	26	27	76	25	62	43	90	32	37	107	59	33.6
5	21		9	12	15		9	19	23		10	26	23		9	33	16	12	8	19.6
6	42		256	13	27		46	20	38		54	27	78		32	34	38		16	45
7	18		77	14	22		90	21	35		41	28	18		24	35	15		61	22
	192	888	642		133	1056	402		267	213	229		262	256	199		191	280	182	1045
	27.4	296.0	91.71		19.00	352.0	57.43		38.14	71.0	32.71		37.43	64.0	28.43		27.29	56.0	26.00	29.86
																				238
																				1303
																				434
																				0.81
																				0.674
																				0.79

Estudio B Sección 2 SketchUp																				
	Esfera				Cono				Pirámide				Cubo				Cilindro			
	BNm	BNs	BEs		BNm	BNs	BEs		BNm	BNs	BEs		BNm	BNs	BEs		BNm	BNs	BEs	
1	79	429	184	6	50	141	50	11	23	107	31	16	27	148	27	21	26	57	15	41.0
2	91	132	31	7	60	147	34	12	26	113	24	17	21	104	28	22	27	94	16	45.0
3	76	201	34	8	36	199	55	13	36	120	17	18	30	107	37	23	33	91	30	42.2
4	76	226	73	9	47	200	40	14	43	61	12	19	18	63	48	24	38	100	25	44.4
5	55	344	69	10	18	238	18	15	29	148	46	20	29	84	20	25	20	129	27	30
	377	1332	391		211	925	197		157	549	130		125	506	160		144	471	113	1014
	75.4	266.4	78.2		42.2	185.0	39.4		31.4	109.8	26.0		25.0	101.2	32.0		28.8	94.2	22.6	40.56
																				116
																				759
																				354
																				0.90
																				0.83
																				0.74

Estudio B Sección 3 SketchUp																				
	Esfera				Cono				Pirámide				Cubo				Cilindro			
	BNm	BNs	BEs		BNm	BNs	BEs		BNm	BNs	BEs		BNm	BNs	BEs		BNm	BNs	BEs	
1	18			6	31			11	14			16	10			21	27			20.0
2	43	124	14	7	26	204	15	12	18	28	37	17	18	64	47	22	19	71	31	24.8
3	59	206	52	8	41	145	28	13	43	108	37	18	13	49	35	23	19	52	43	35.0
4	35	105	36	9	23	85	17	14	15	67	24	19	13	44	8	24	13	90	15	19.8
5	27	134	52	10	19	112	12	15	26	242	12	20	14	63	9	25	10	22	8	19
	182	569	154		140	546	72		116	445	110		68	220	99		88	235	97	594
	36.4	142.3	38.5		28.0	136.5	18.0		23.2	111.3	27.5		13.6	55.0	24.8		17.6	58.8	24.3	23.76
																				129
																				594
																				205
																				0.82
																				0.77
																				0.72

Estudio B Sección 4 SketchUp																				
BNm							BNs							BEs						
487							1934							888						

## Tiempos de realización de *sketches* en Estudio C

Estudio C Sección 1 Illustrator																						
	Esfera				Cono				Pirámide				Cubo				Cilindro			1011	4373	1152
	CNm	CNs	Ces		CNm	CNs	Ces		CNm	CNs	Ces		CNm	CNs	Ces		CNm	CNs	Ces	CNm	CNs	Ces
1	9	180	24	8	17	115	22	15	28	330	19	22	12	31	31	29	7	66	21	14.6	144.4	23.4
2	8	43	6	9	15	23	4	16	27	6	38	23	15	20	10	30	8	27	4	14.6	23.8	12.4
3	9	32	19	10	10	53	9	17	25	146	12	24	13	24	9	31	6	20	8	12.6	55.0	11.4
4	23	218	19	11	15	336	49	18	24	84	44	25	83	252	14	32	10	28	28	31.0	183.6	30.8
5	8	70	19	12	11	129	10	19	18	53	14	26	10	30	12	33	3	10	9	10.0	58.4	12.8
6	27	247	13	13	24	362	32	20	54		35	27	36		14	34	15	192	43	31	267.0	27
7	9	121	47	14	14		26	21	18		8	28	53		12	35	8	59	17	20	90.0	22
	93	911	147		106	1018	152		194	619	170		222	357	102		57	402	130	672	3307	701
	13.3	130.1	21.00		15.14	169.7	21.71		27.71	123.8	24.29		31.71	71.4	14.57		8.14	57.4	18.57	19.20	110.49	20.03
																				339	1066	451
																				0.66	0.76	0.61

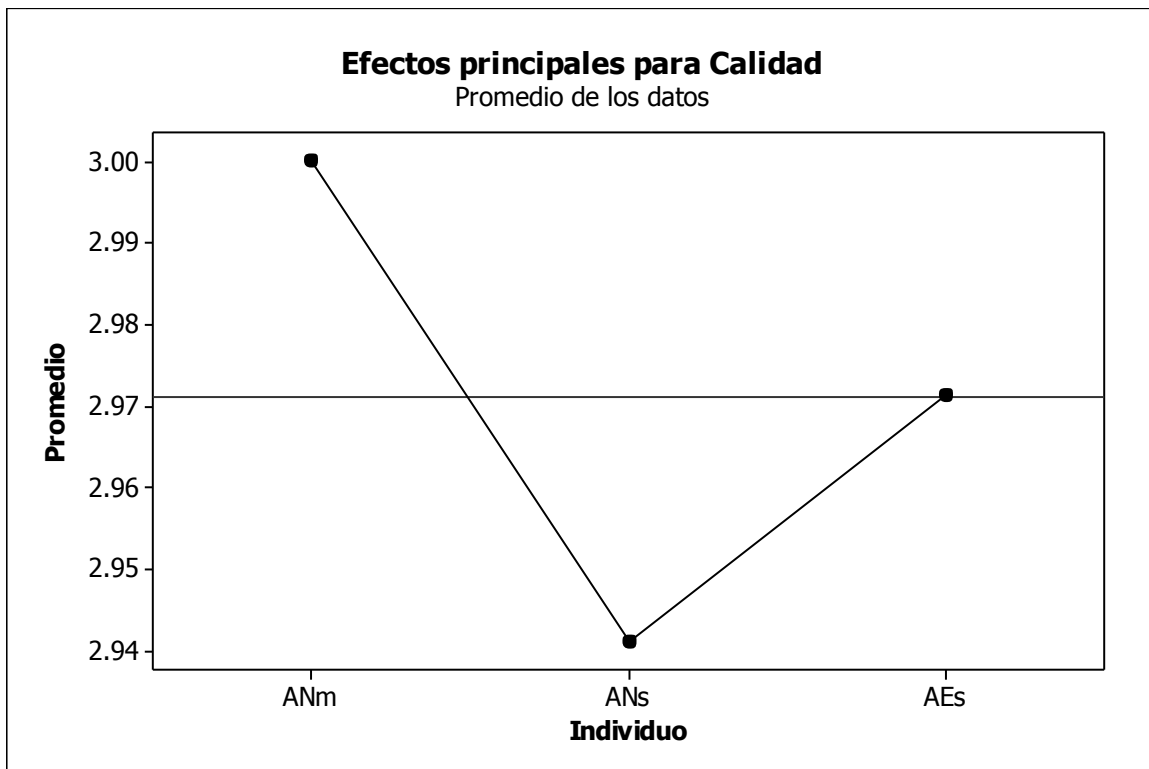
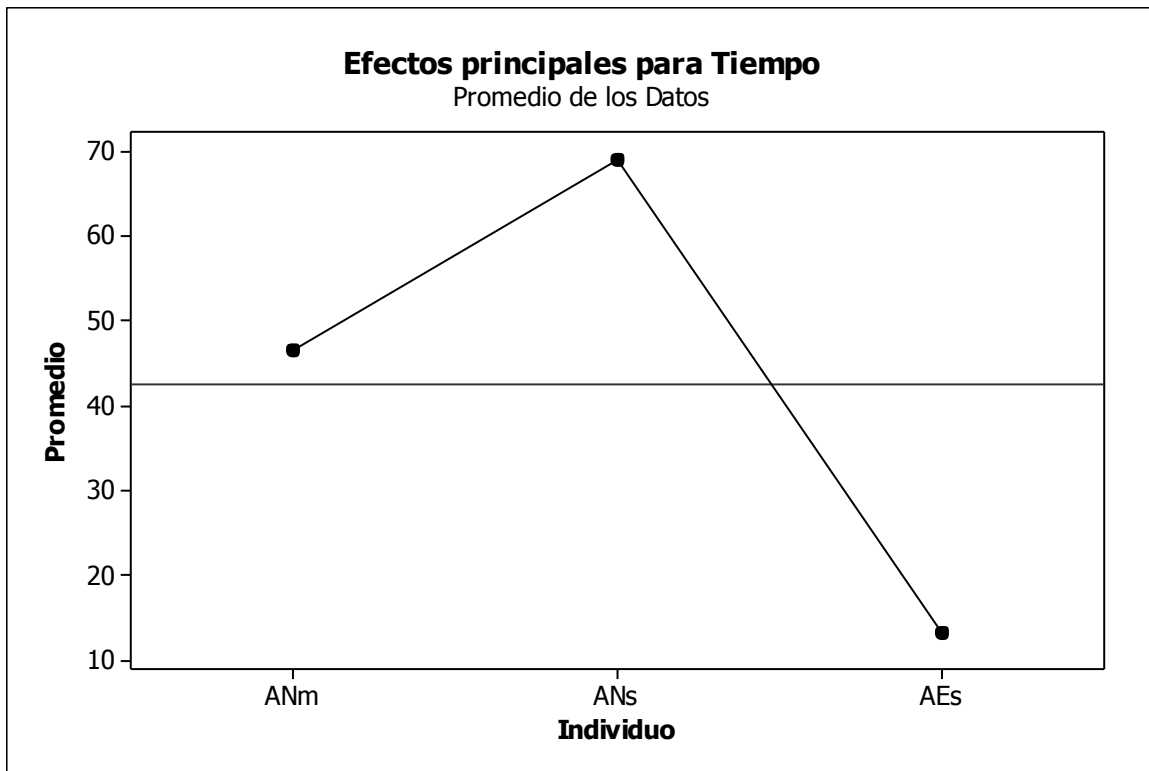
Estudio C Sección 2 Illustrator																						
	Esfera				Cono				Pirámide				Cubo				Cilindro			924	1720	2266
	CNm	CNs	Ces		CNm	CNs	Ces		CNm	CNs	Ces		CNm	CNs	Ces		CNm	CNs	Ces	CNm	CNs	Ces
1	26	179	105	6	33	100	160	11	22	120	74	16	40	60	78	21	29	18	58	30.0	95.4	95.0
2	32	90	42	7	38	69	123	12	27	33	121	17	32	76	70	22	23	29	28	30.4	59.4	76.8
3	36	69	67	8	28	68	136	13	40	55	68	18	36	70	87	23	28	52	94	33.6	62.8	90.4
4	55	61	75	9	32	53	148	14	28	60	46	19	37	51	59	24	30	65	42	36.4	58.0	74.0
5	59	82	66	10	32	47	61	15	26	18	23	20	34	72	57	25	19	28	66	34.0	49.4	54.6
	208	481	355		163	337	628		143	286	332		179	329	351		129	192	288	822	1625	1954
	41.6	96.2	71.0		32.6	67.4	125.6		28.6	57.2	66.4		35.8	65.8	70.2		25.8	38.4	57.6	32.88	65.00	78.16
																				102	95	312
																				0.89	0.94	0.86

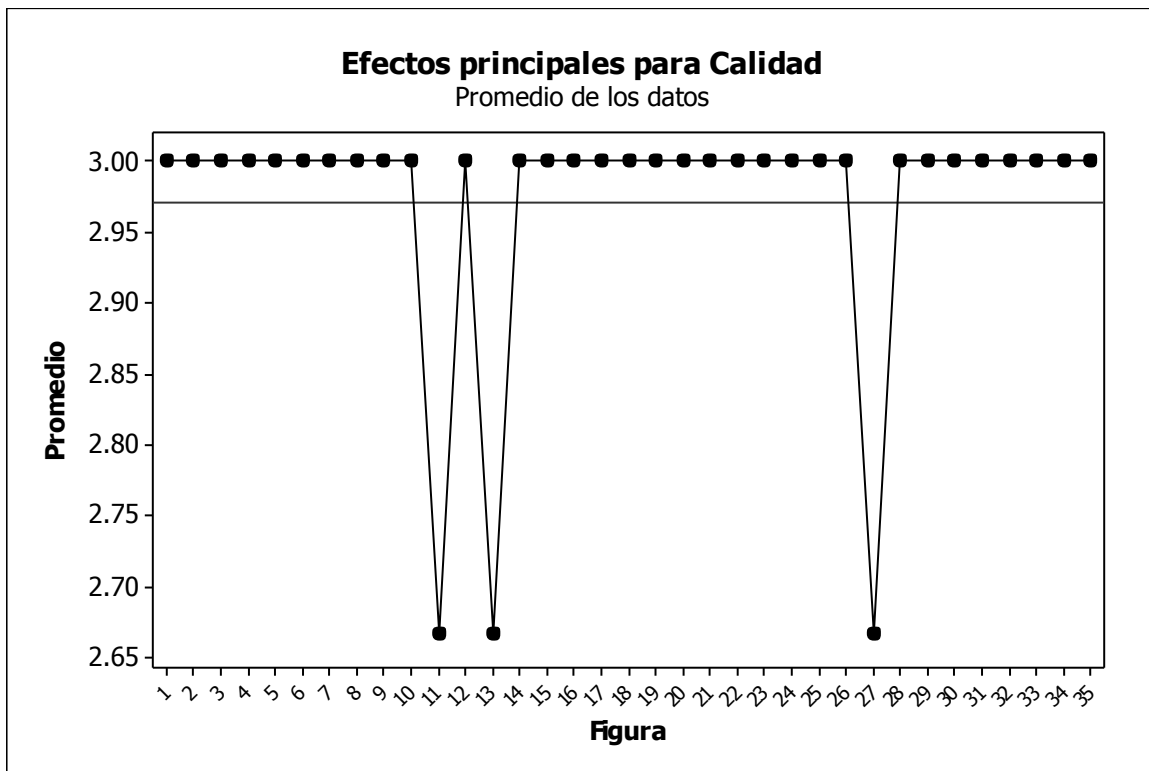
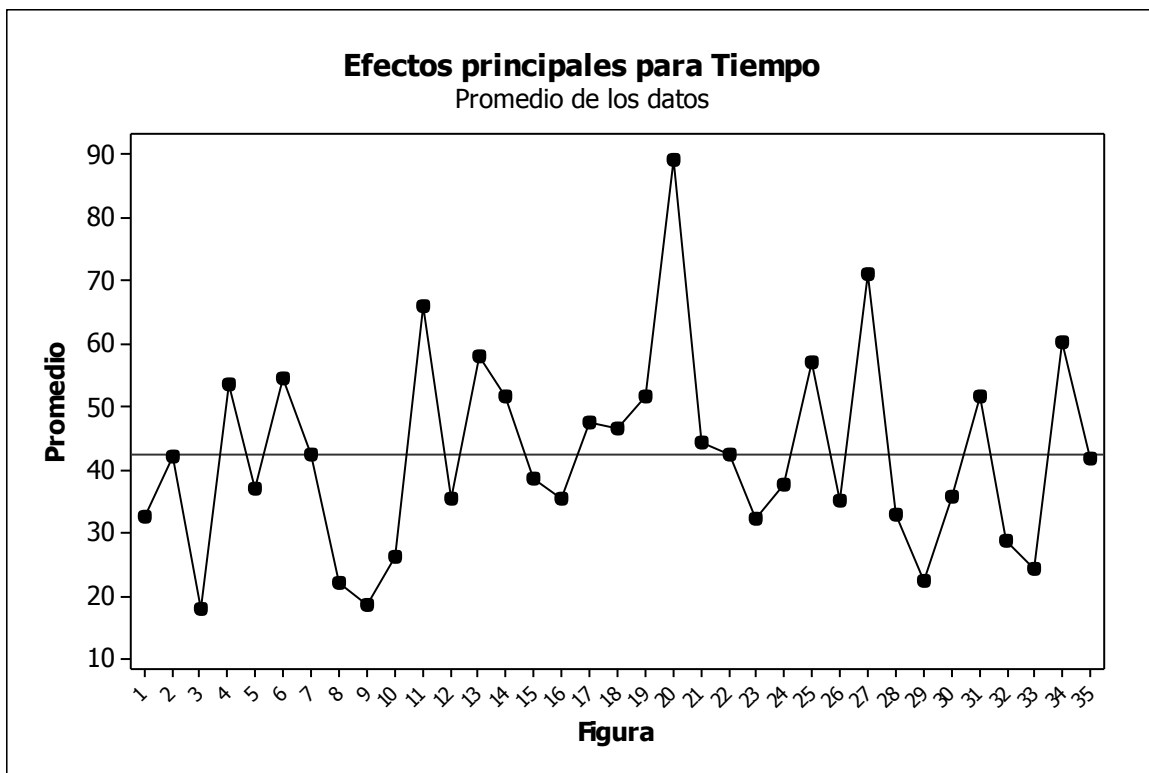
Estudio C Sección 3 Illustrator																						
	Esfera				Cono				Pirámide				Cubo				Cilindro			745	1778	1167
	CNm	CNs	Ces		CNm	CNs	Ces		CNm	CNs	Ces		CNm	CNs	Ces		CNm	CNs	Ces	CNm	CNs	Ces
1	38			6	29	75		11	28	58		16	24	39		21	28	100		29.4	68.0	0.0
2	29	18	51	7	28	54	61	12	20	40	99	17	18	28	32	22	23	40	31	23.6	36.0	54.8
3	20	132	27	8	28	39	47	13	26	67	135	18	21	29	37	23	23	67	91	23.6	66.8	67.4
4	23	53	70	9	29	110	26	14	22	28	62	19	26	42	37	24	19	43	21	23.8	55.2	43.2
5	27	54	34	10	22	104	57	15	22	32	10	20	37	38	29	25	22	34	28	26.0	52.4	31.6
	137	257	182		136	382	191		118	225	306		126	176	135		115	284	171	632	1324	985
	27.4	64.3	45.5		27.2	76.4	47.8		23.6	45.0	76.5		25.2	35.2	33.8		23.0	56.8	42.8	25.28	55.53	49.25
																				113	454	182
																				0.85	0.74	0.84

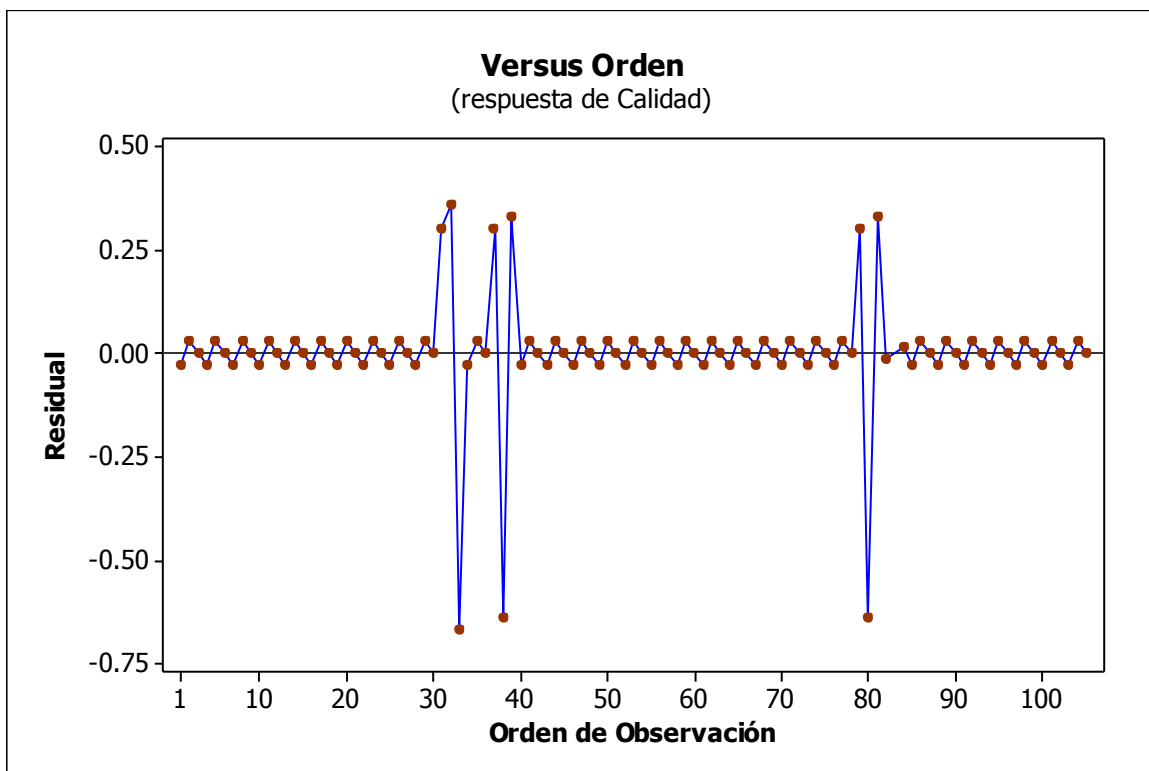
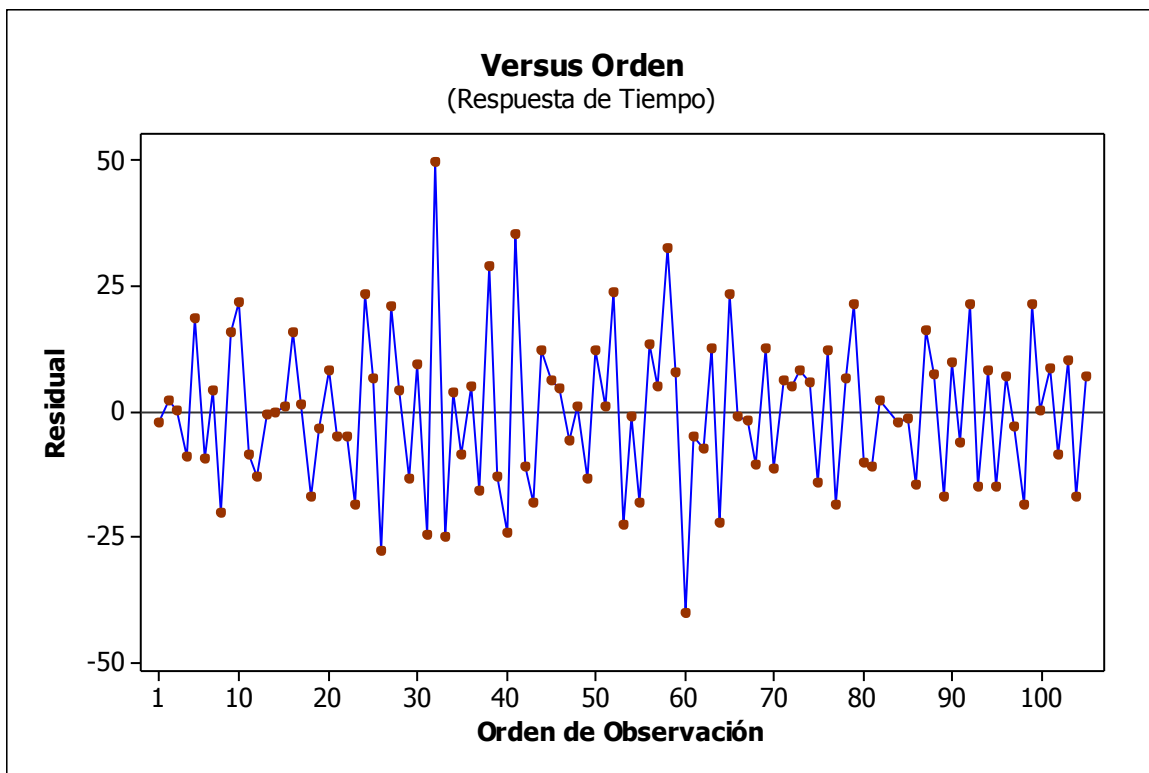
Estudio C Sección 4 Illustrator									
CNm			CNs			Ces			
580			4044			1085			

## **Anexo 3: Ejemplo de gráficas de Minitab para Análisis 1 de Estudio A**

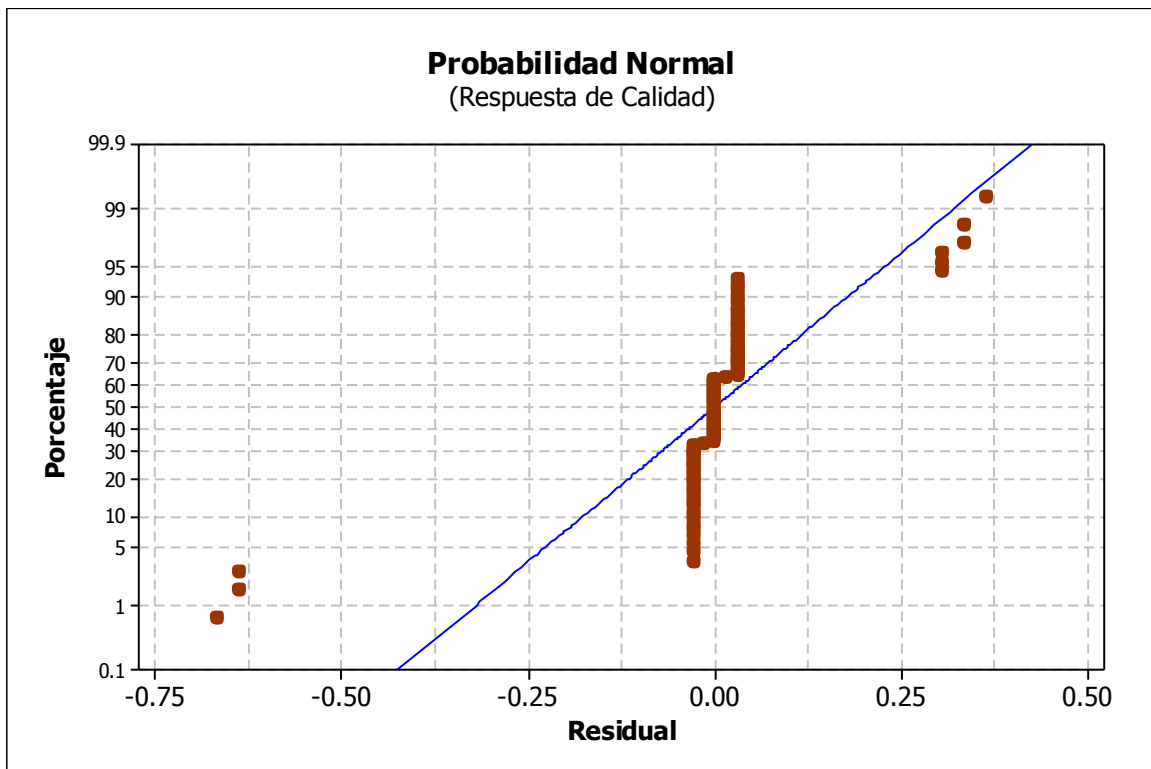
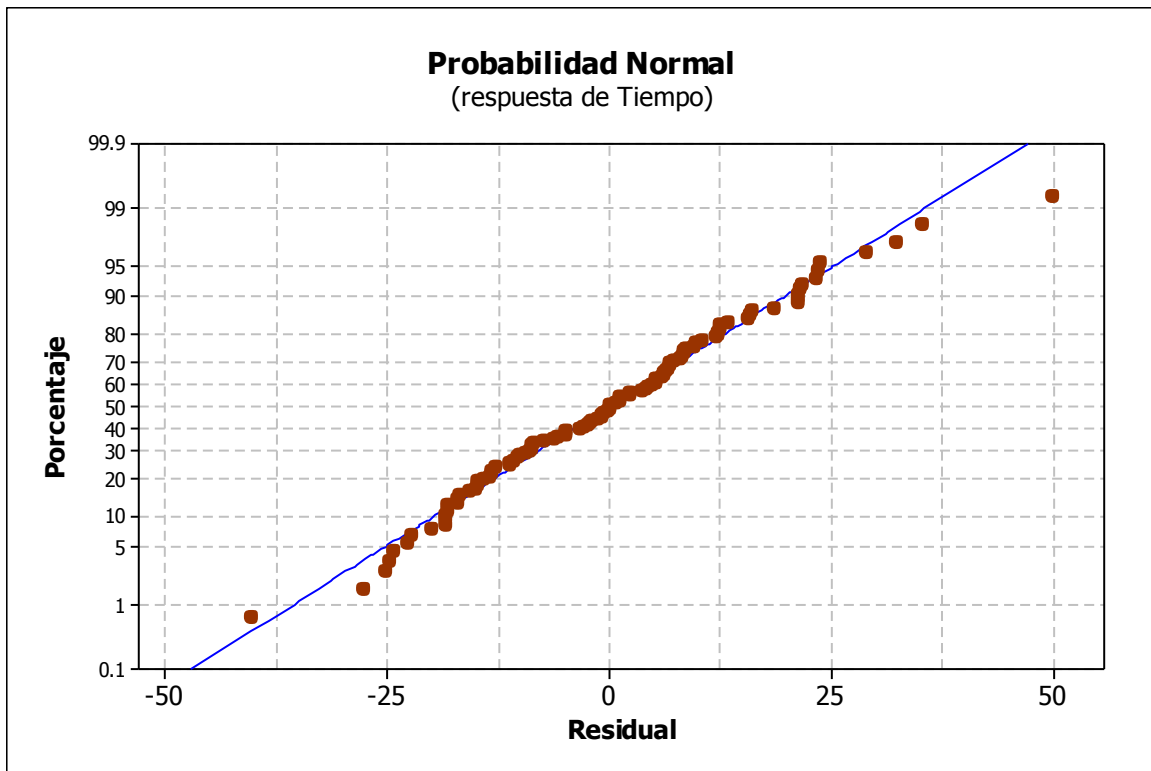
En el presente anexo se encontrarán las gráficas realizadas en Minitab con la finalidad de realizar el análisis estadístico del Análisis 1 del Estudio A. Es importante mencionar que sólo se muestran en calidad de ejemplo, pues se realizaron 108 gráficas para el Análisis 1 de los diferentes estudios.

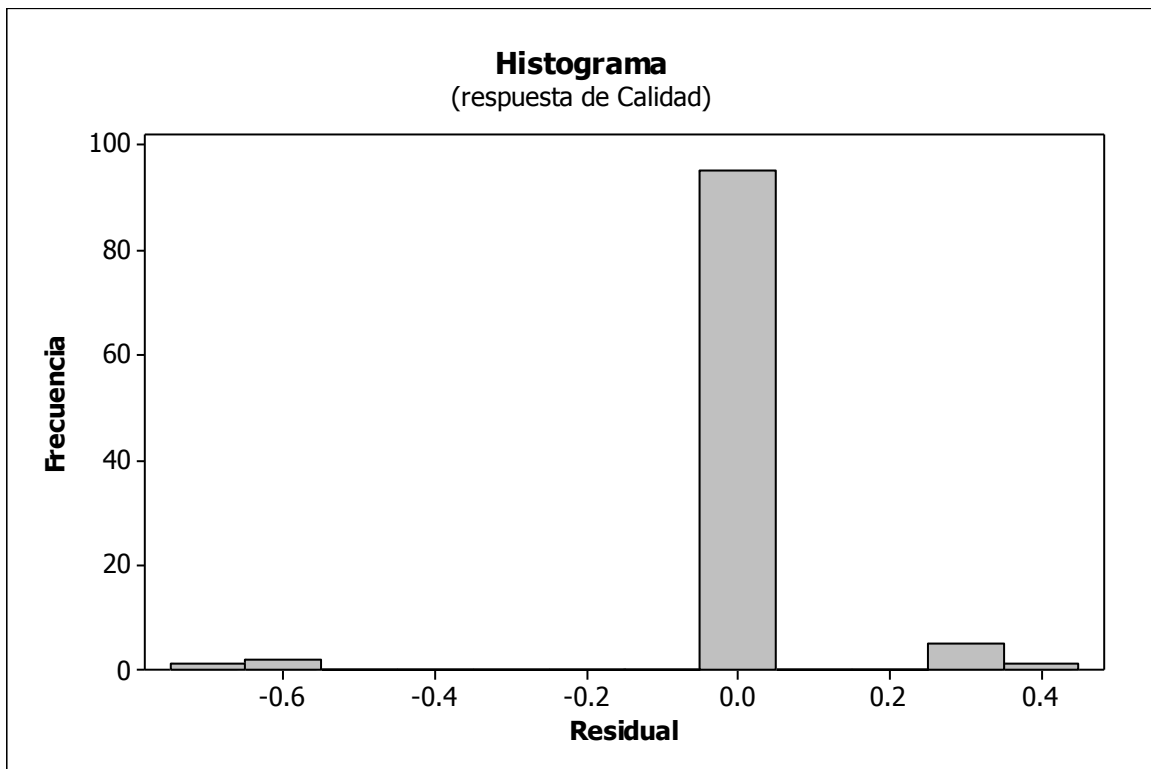
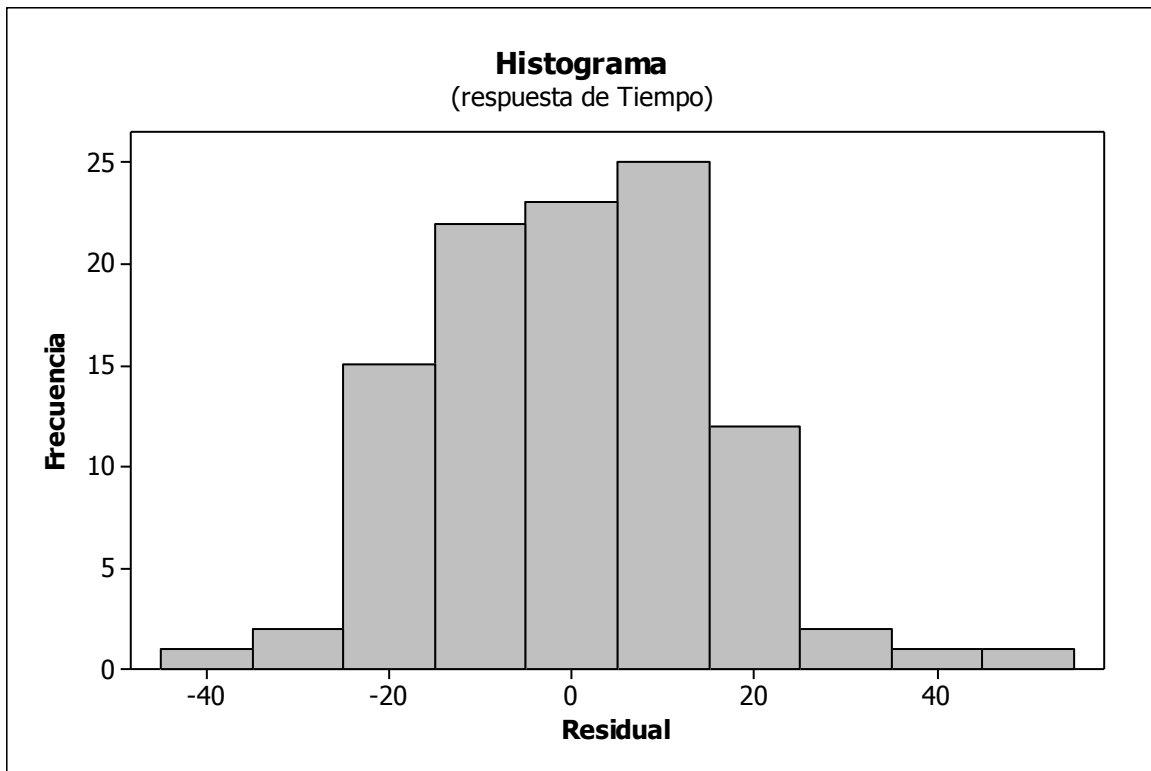


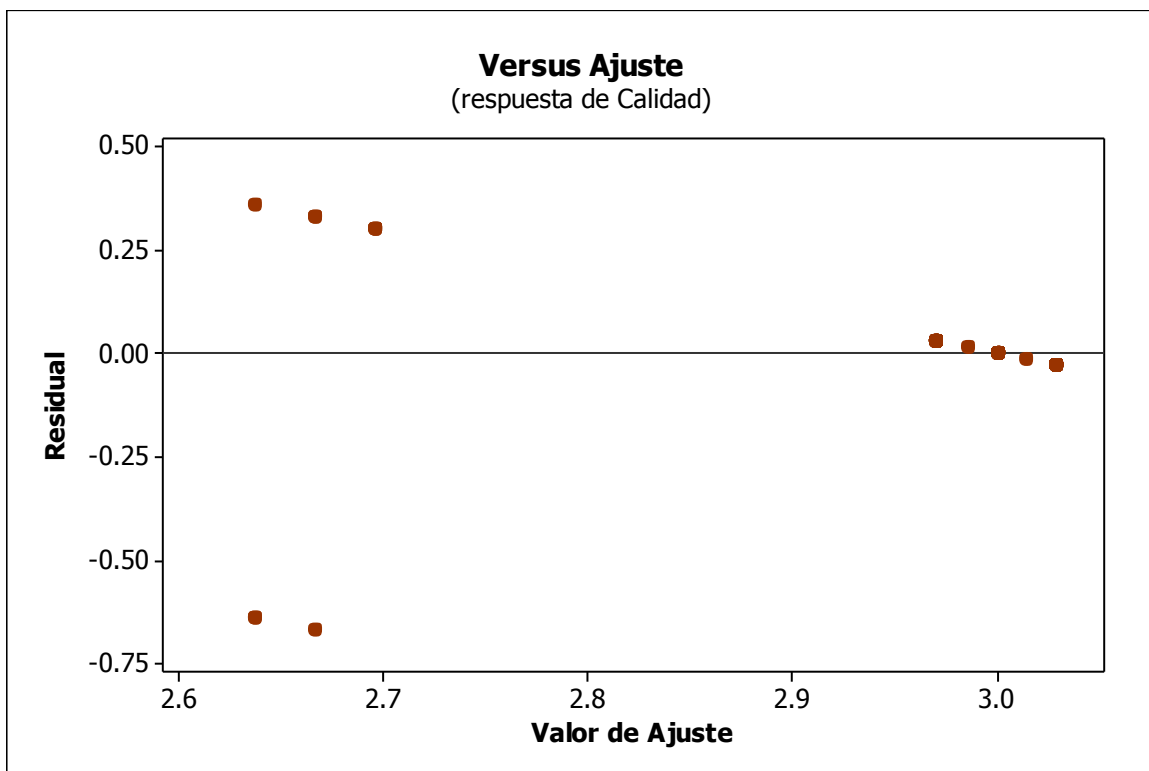
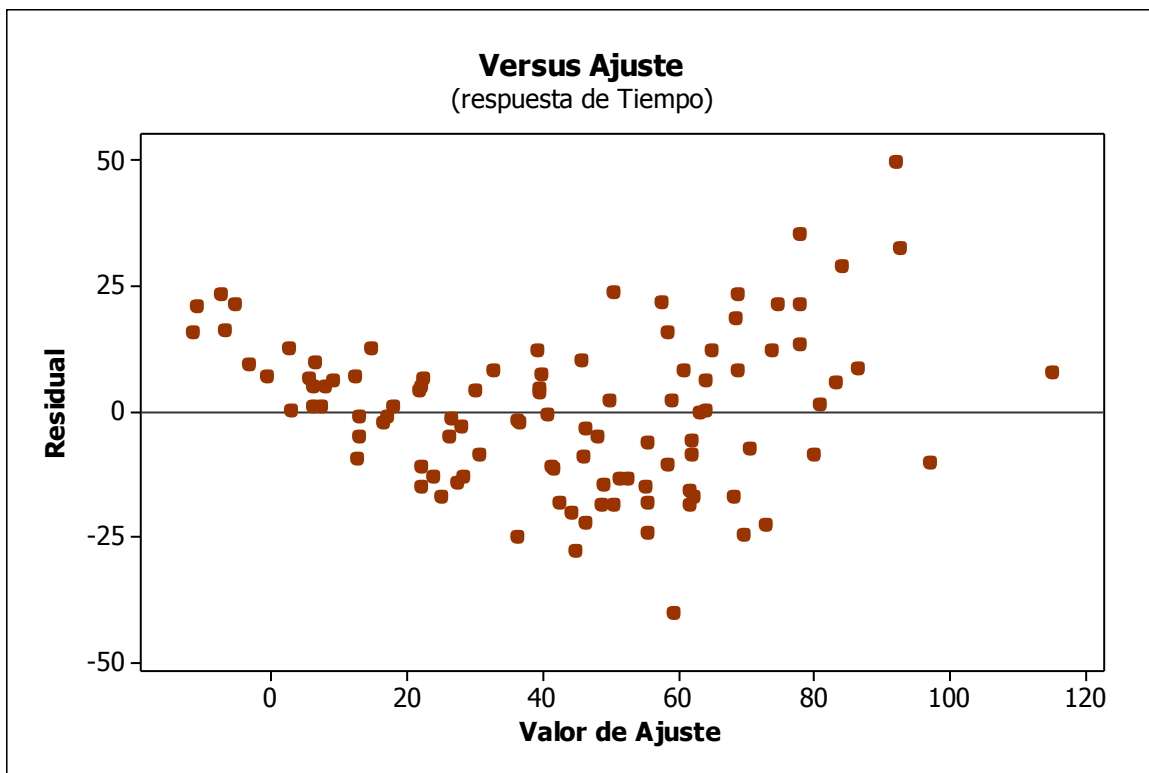








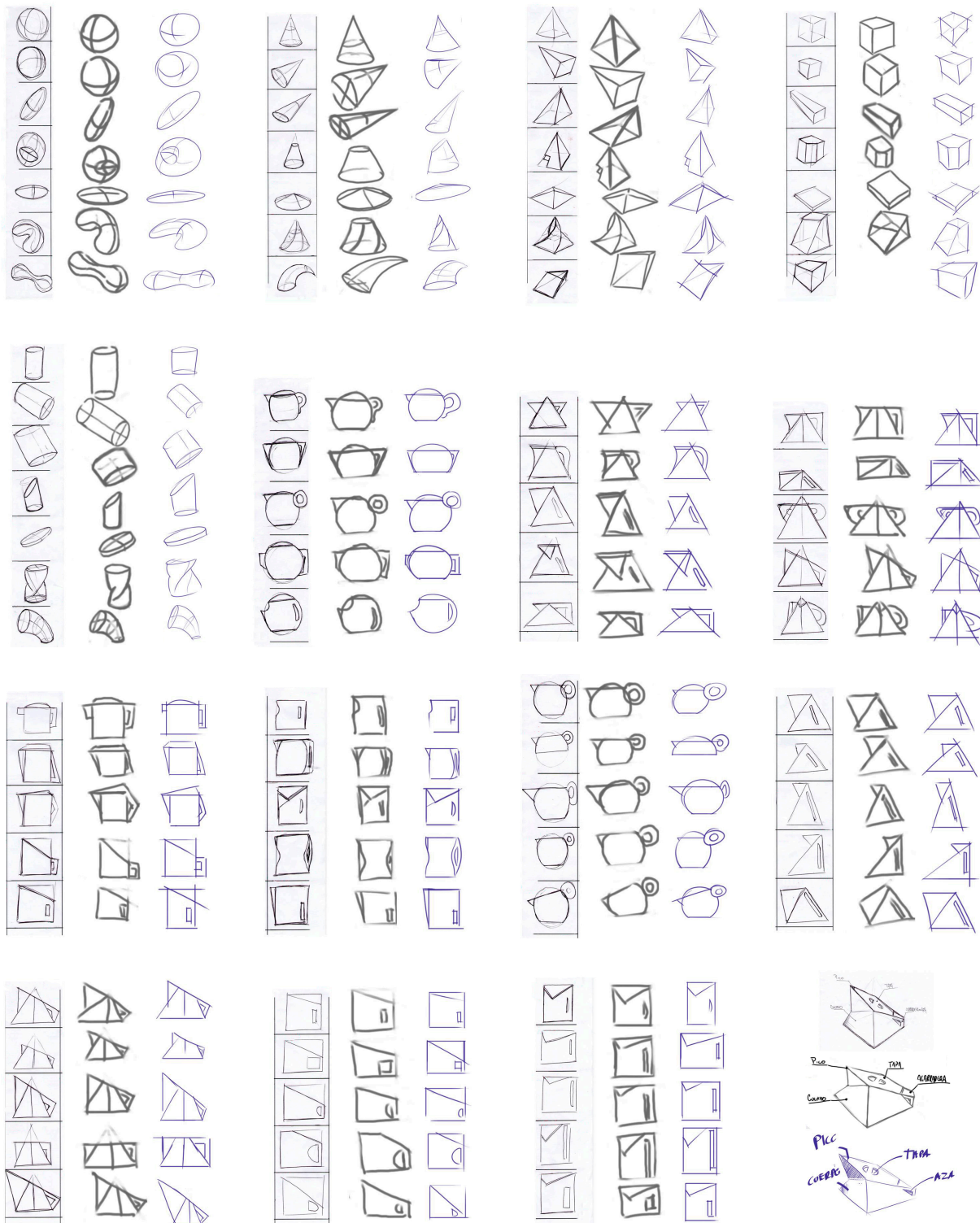


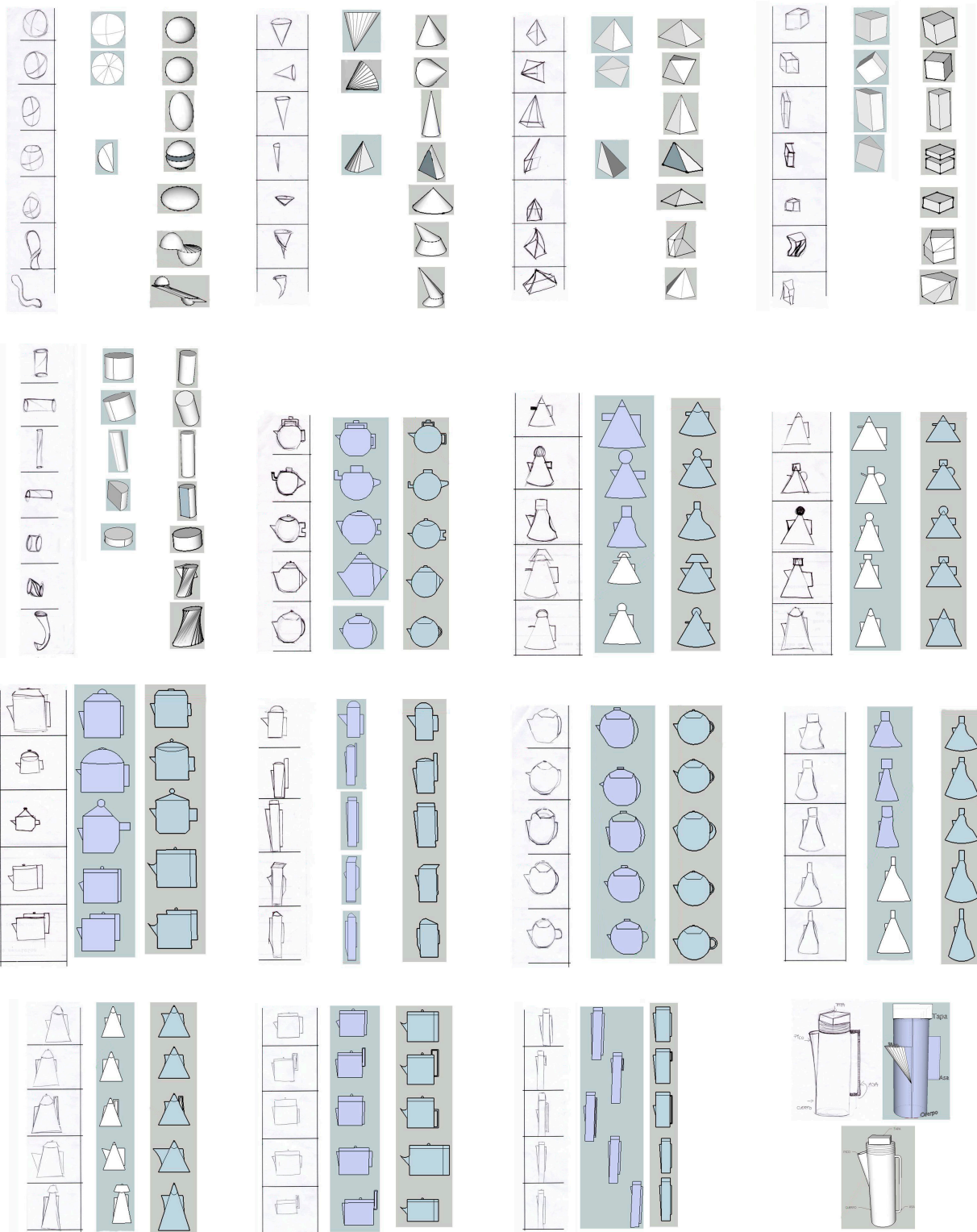


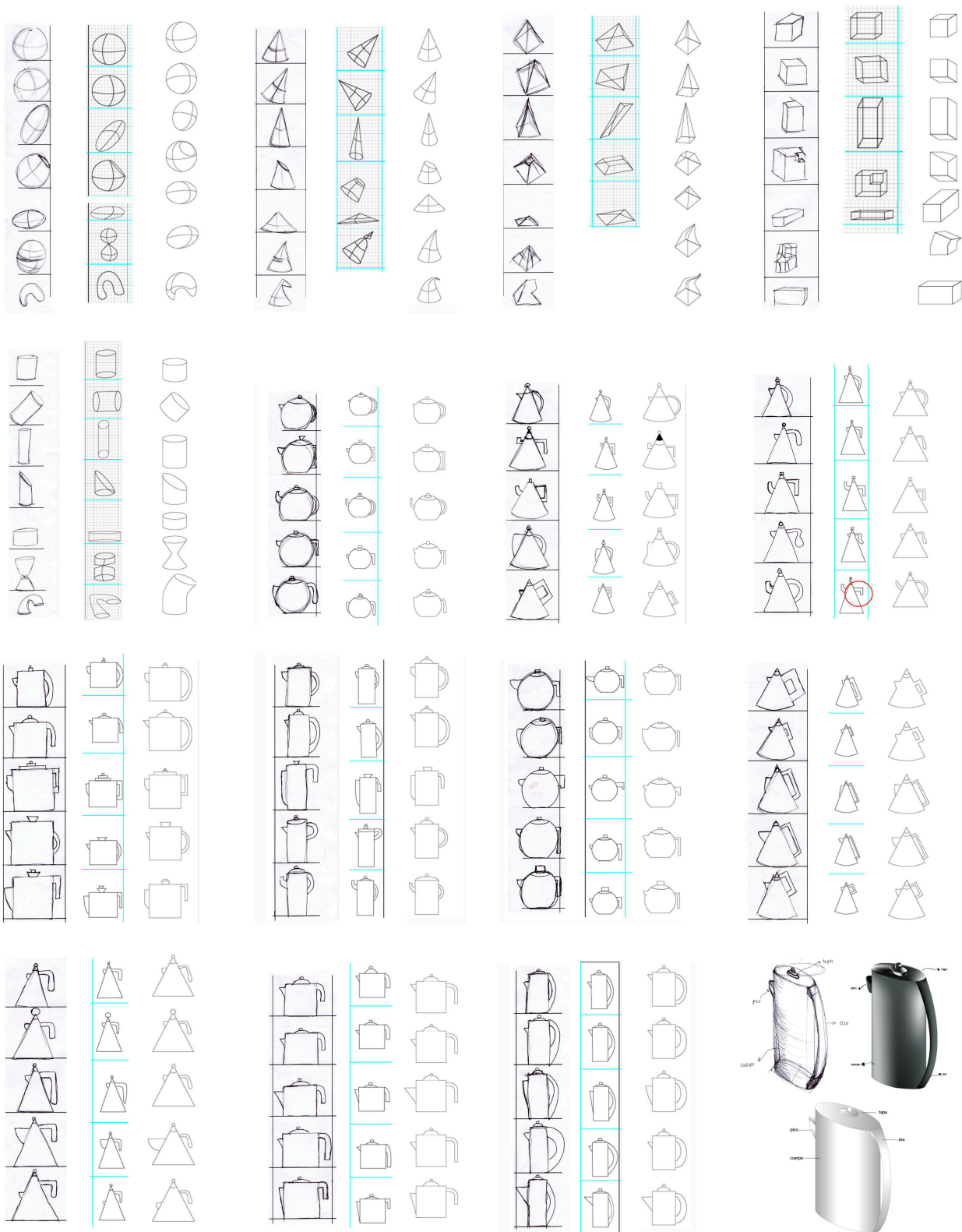
## **Anexo 4: Concentrados de figuras para Análisis 1-2-3**

A continuación se presentarán los concentrados de figuras ocupados para realizar los diferentes análisis.

## Concentrado para Análisis 1

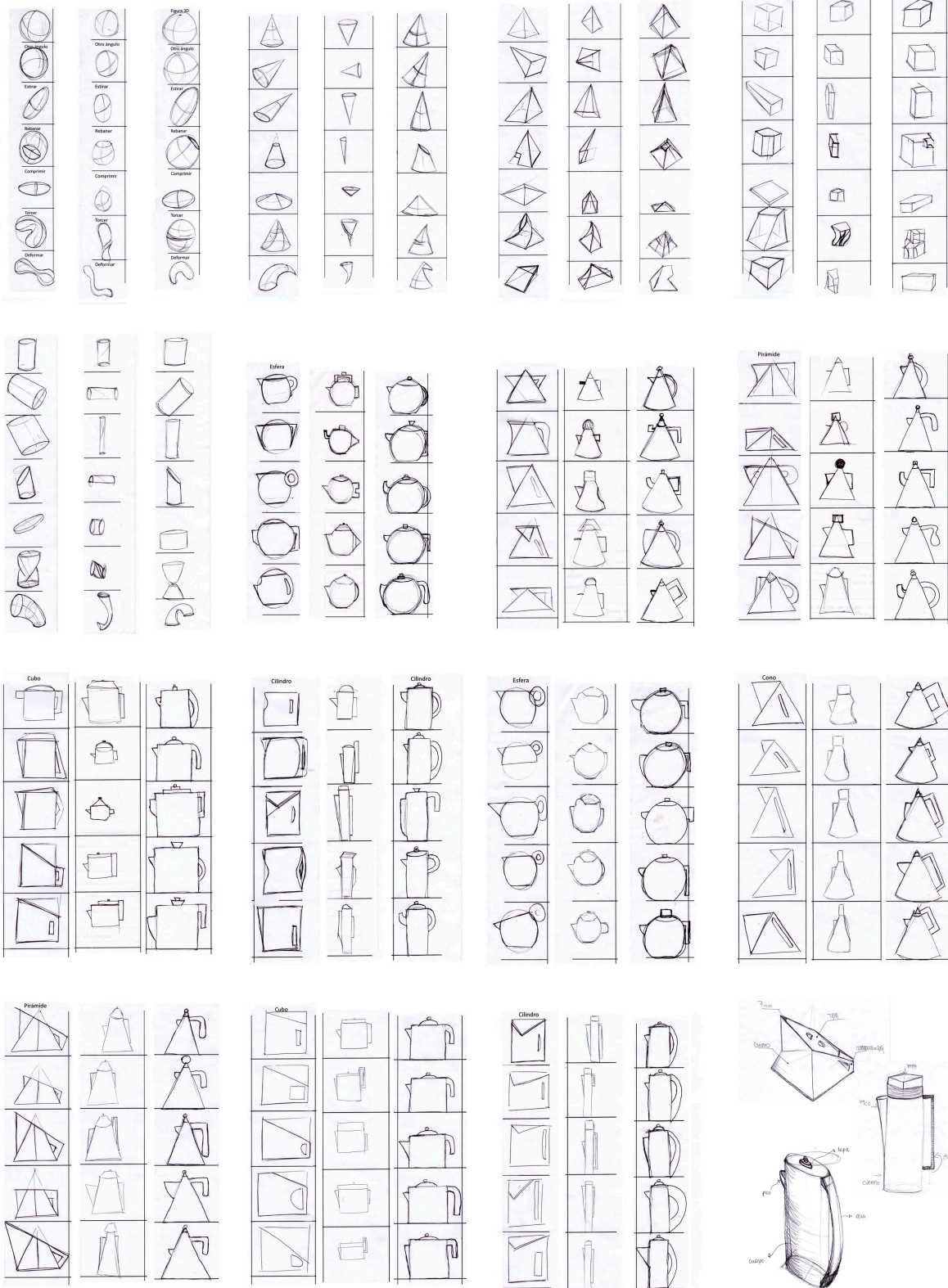






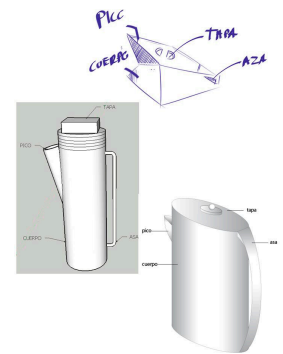
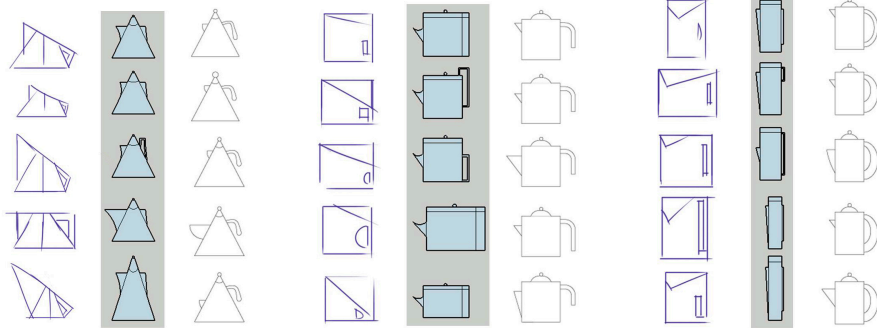
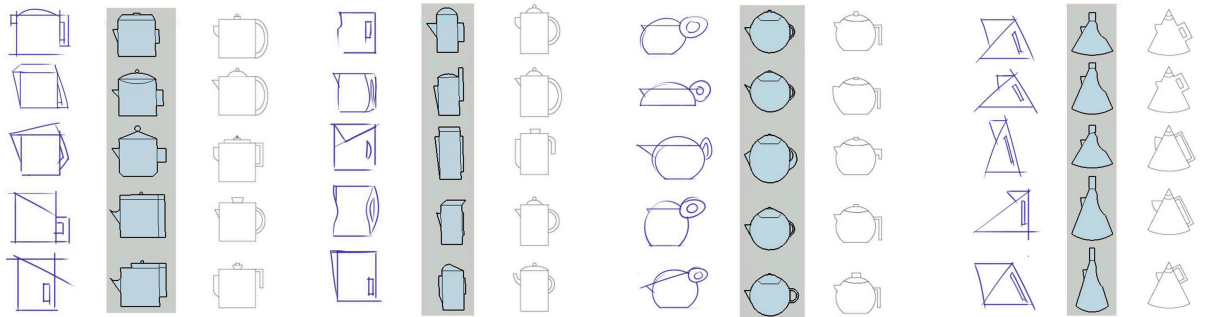
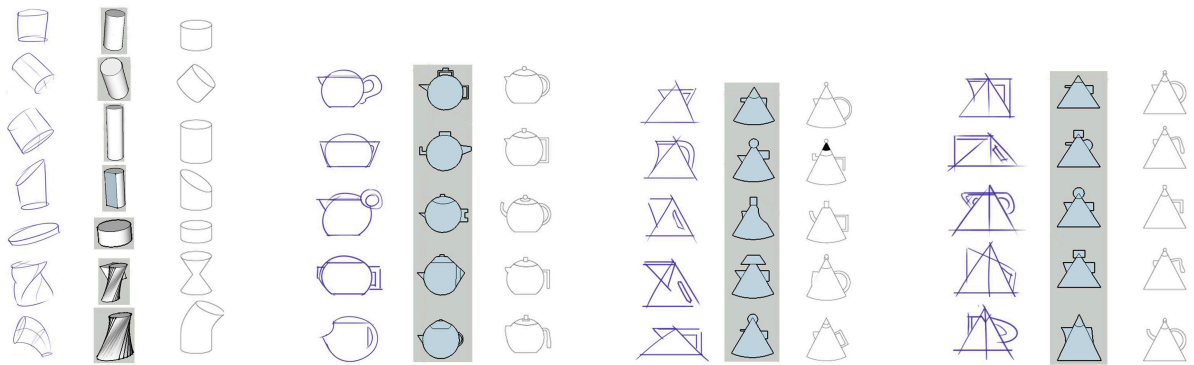
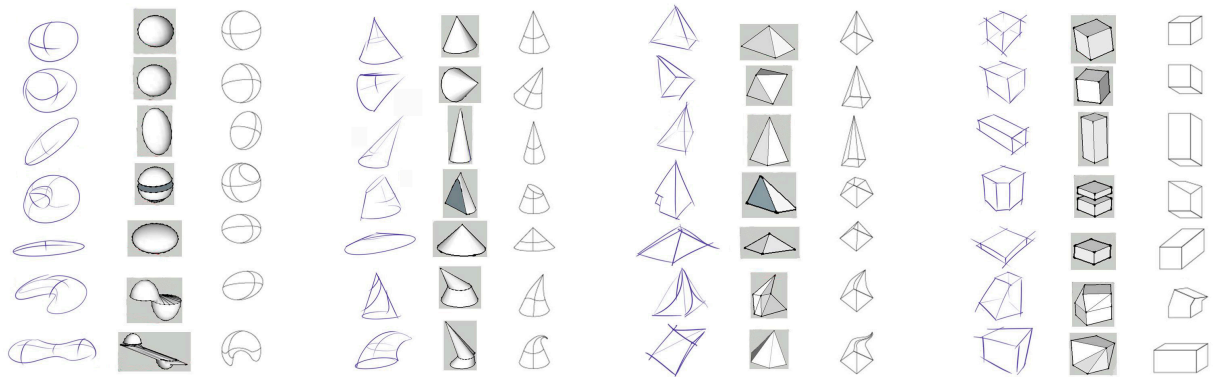


## Concentrado para Análisis 2

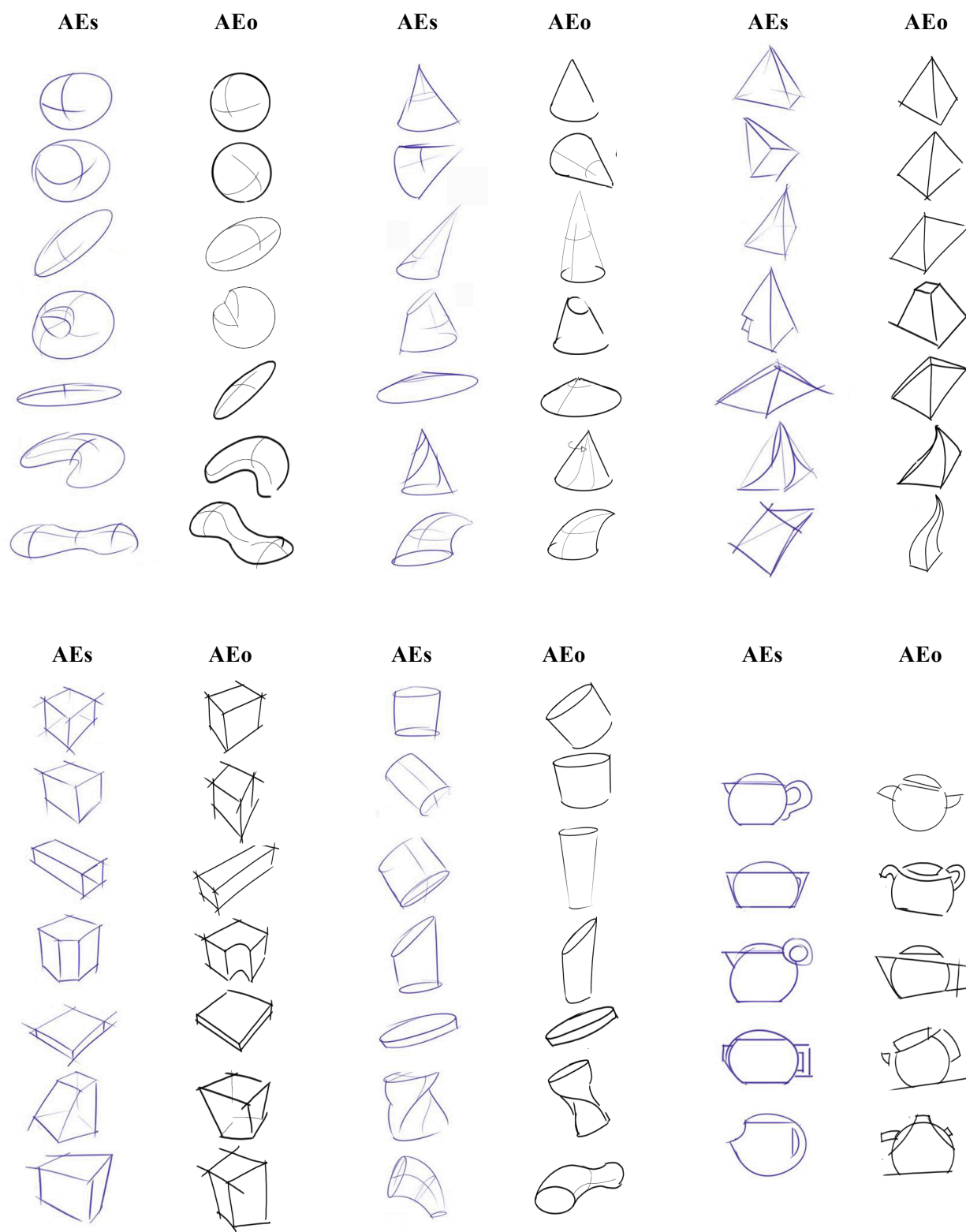


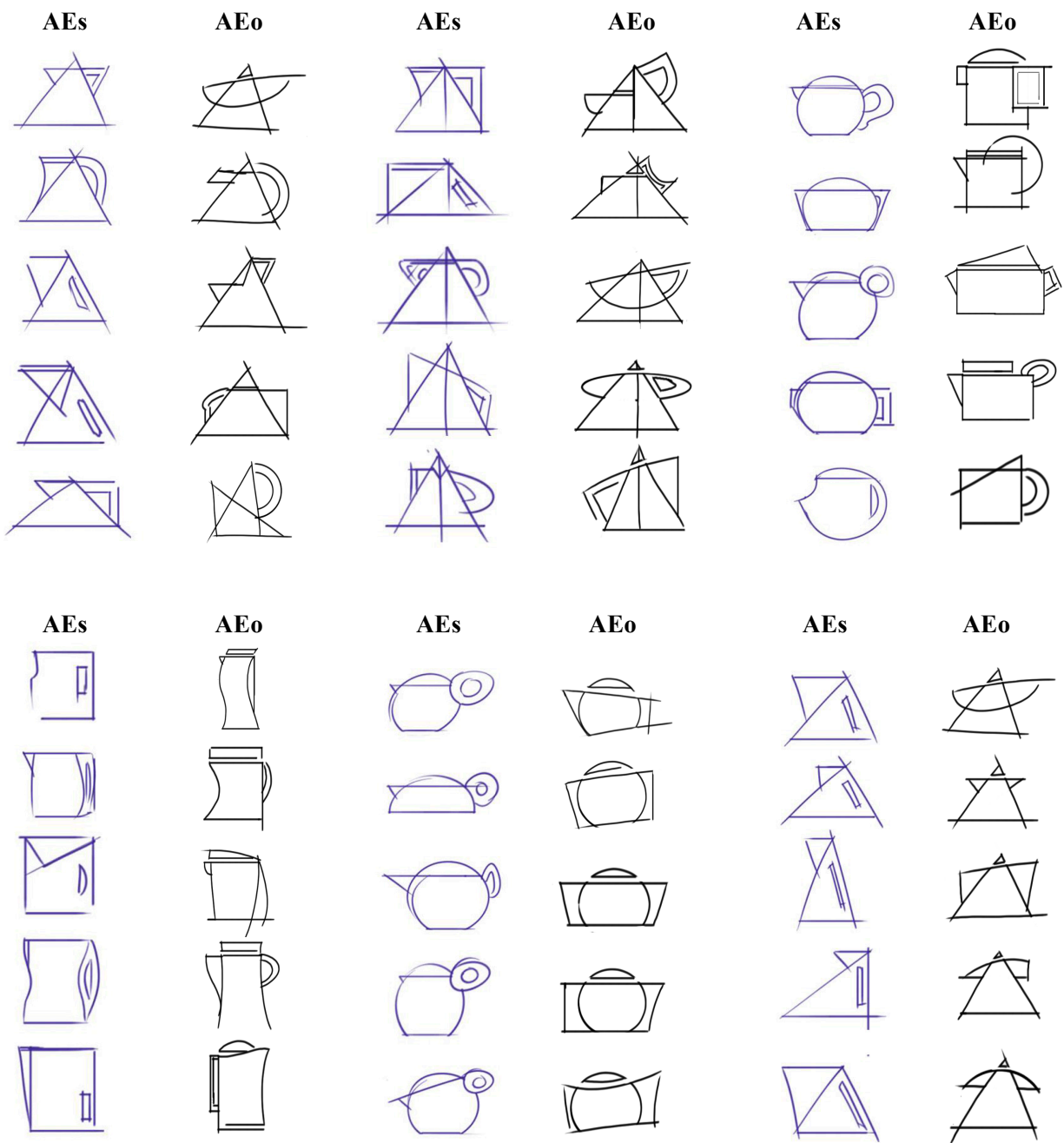


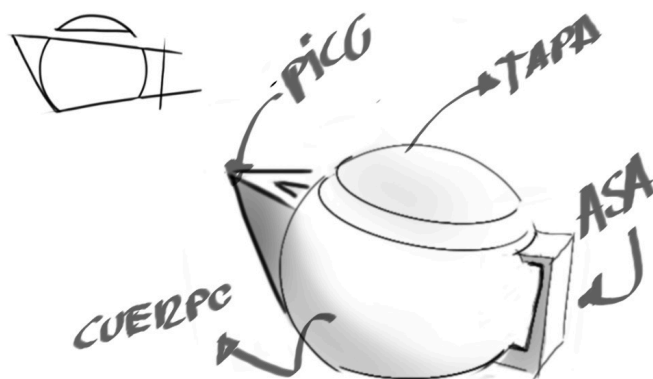
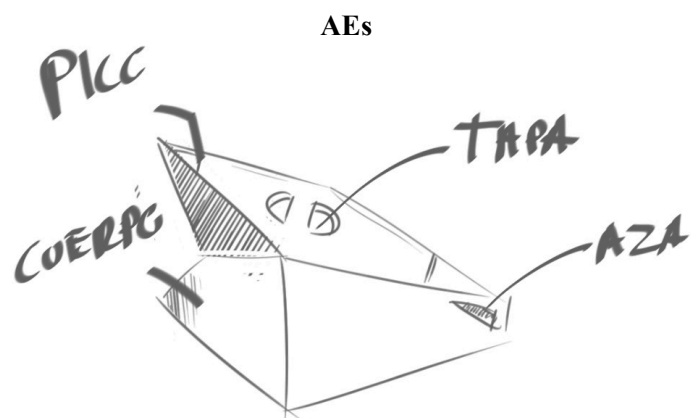
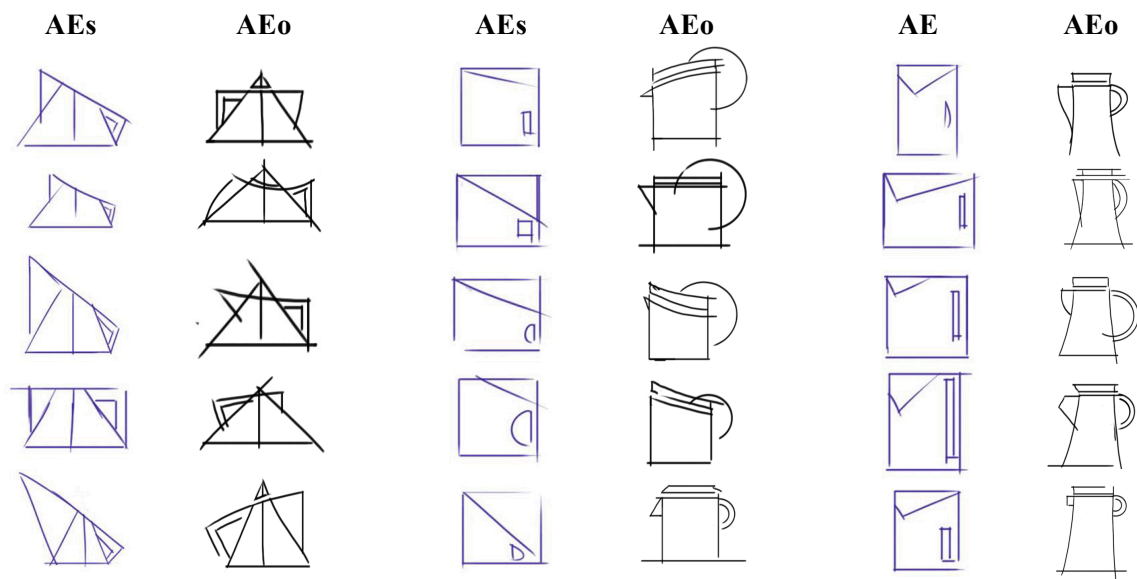




### Concentrado para Análisis 3



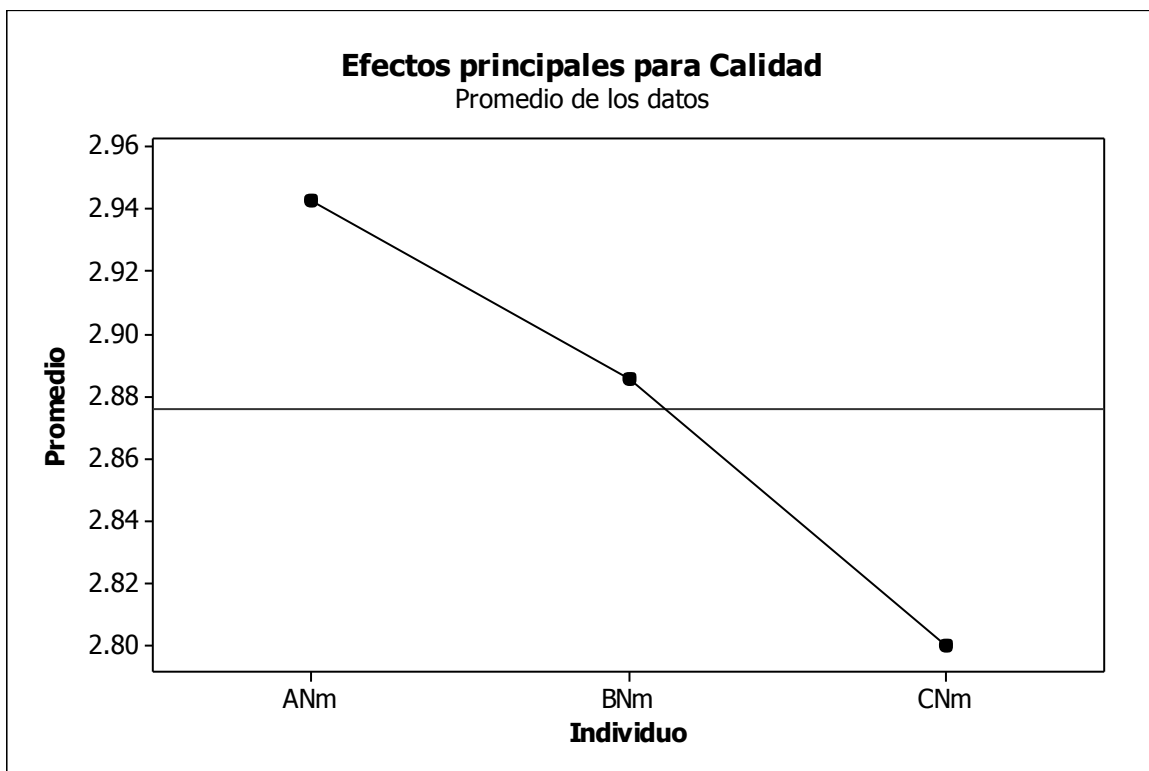
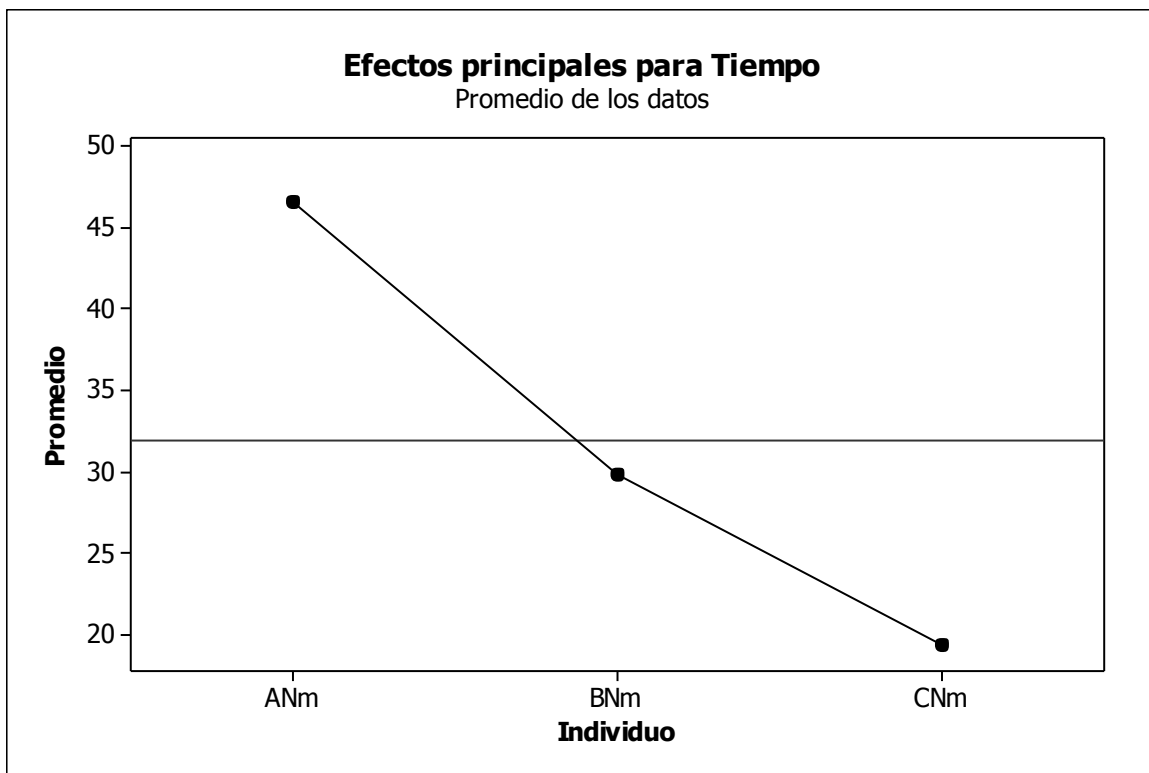


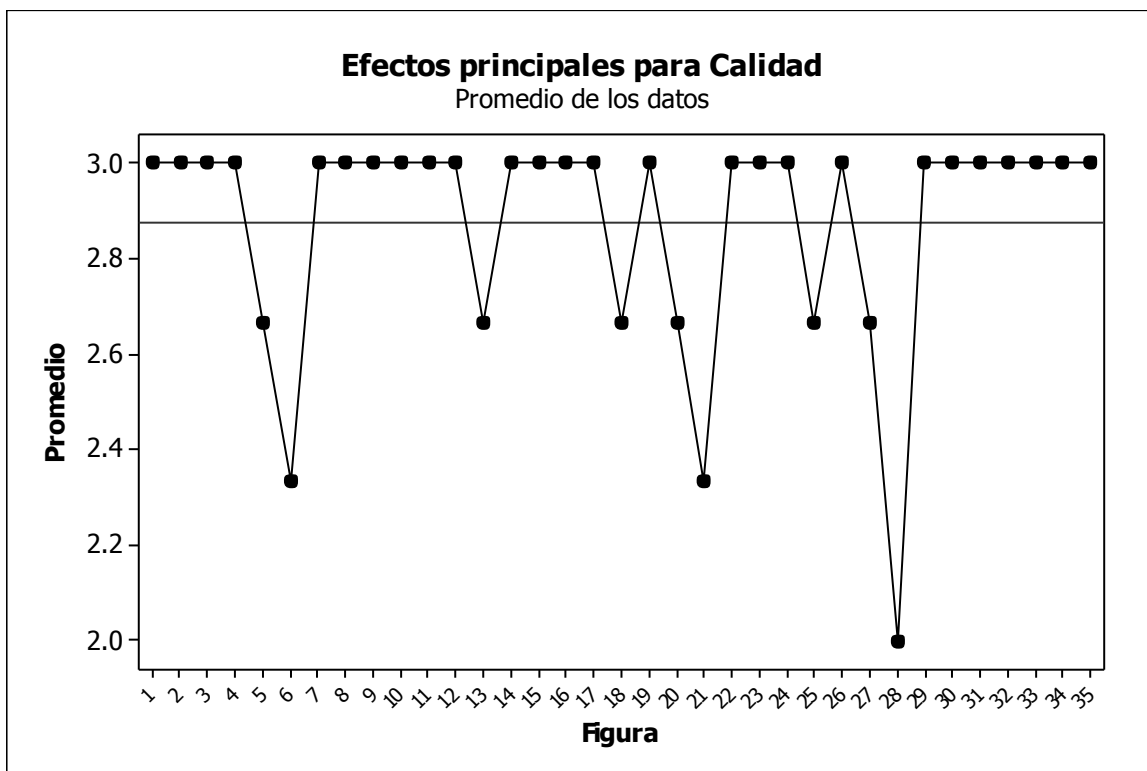
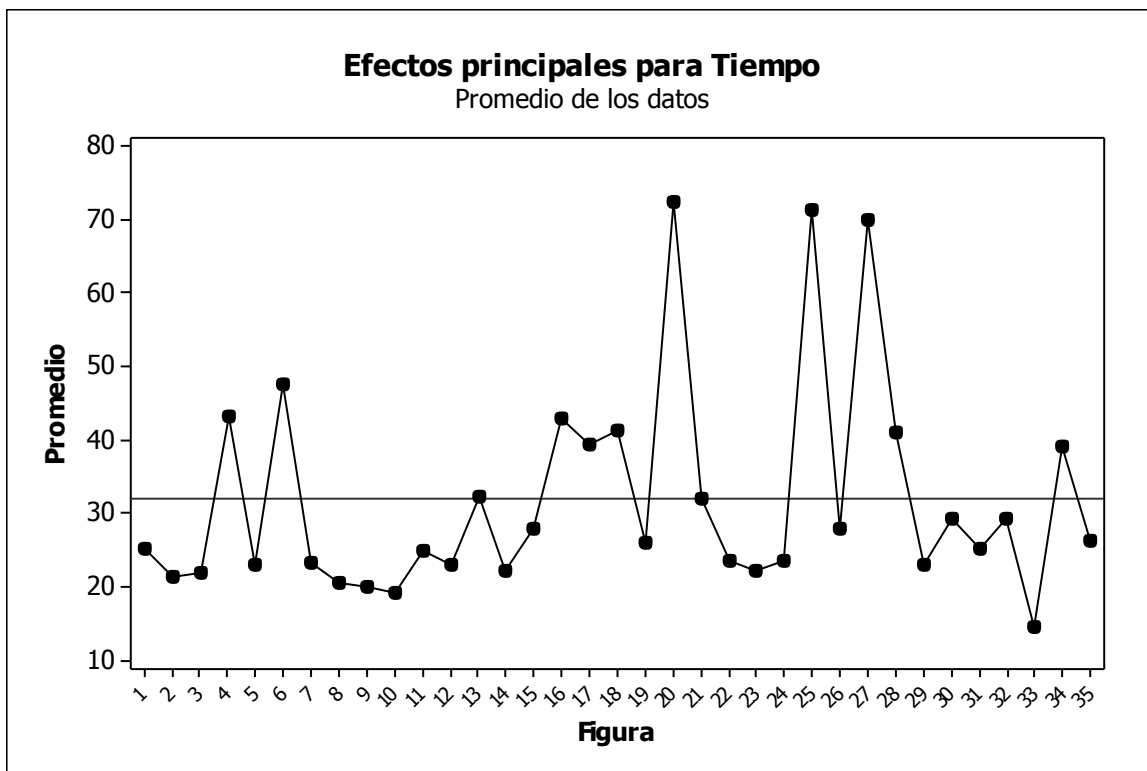


AEo

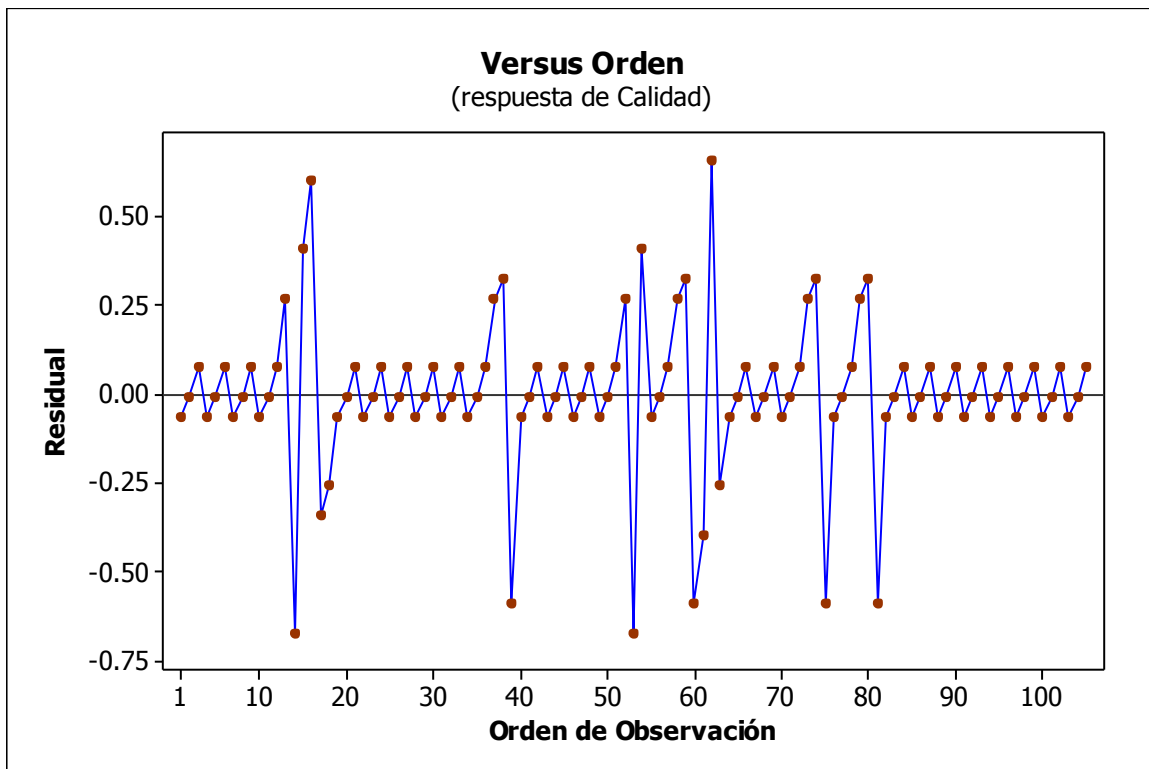
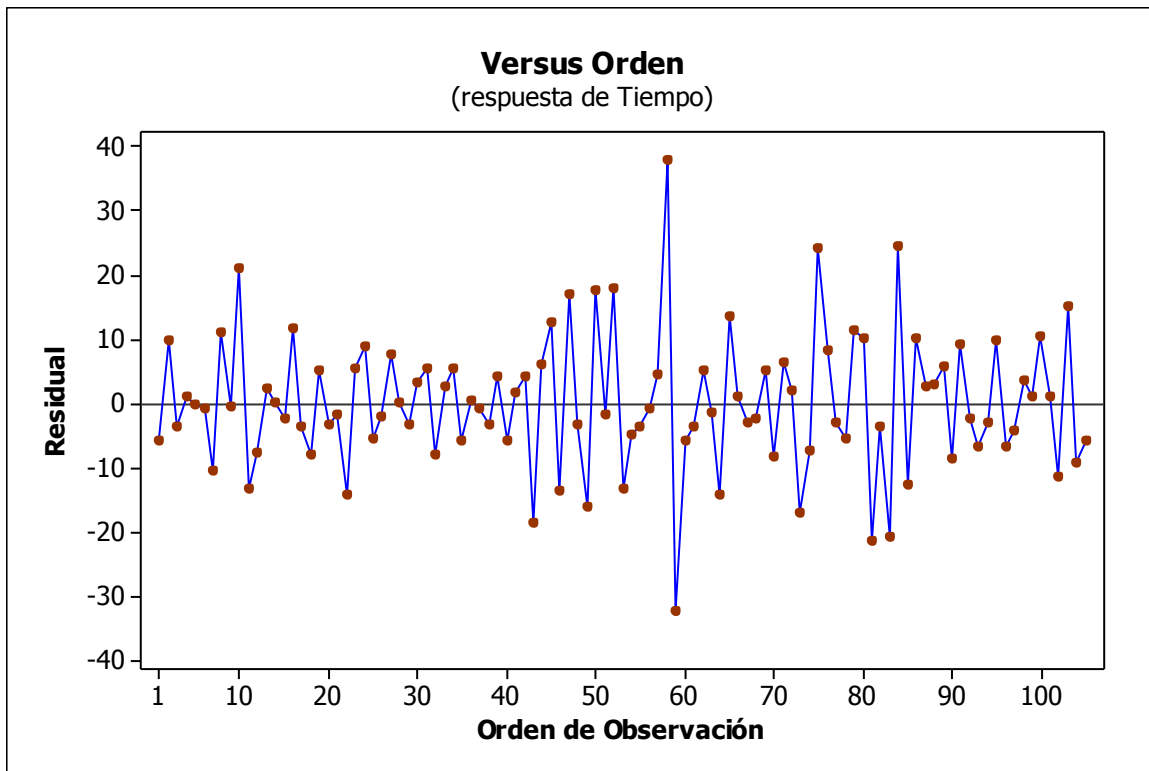
# **Anexo 5: Ejemplo de gráficas de Minitab para Análisis 2 de Estudio A**

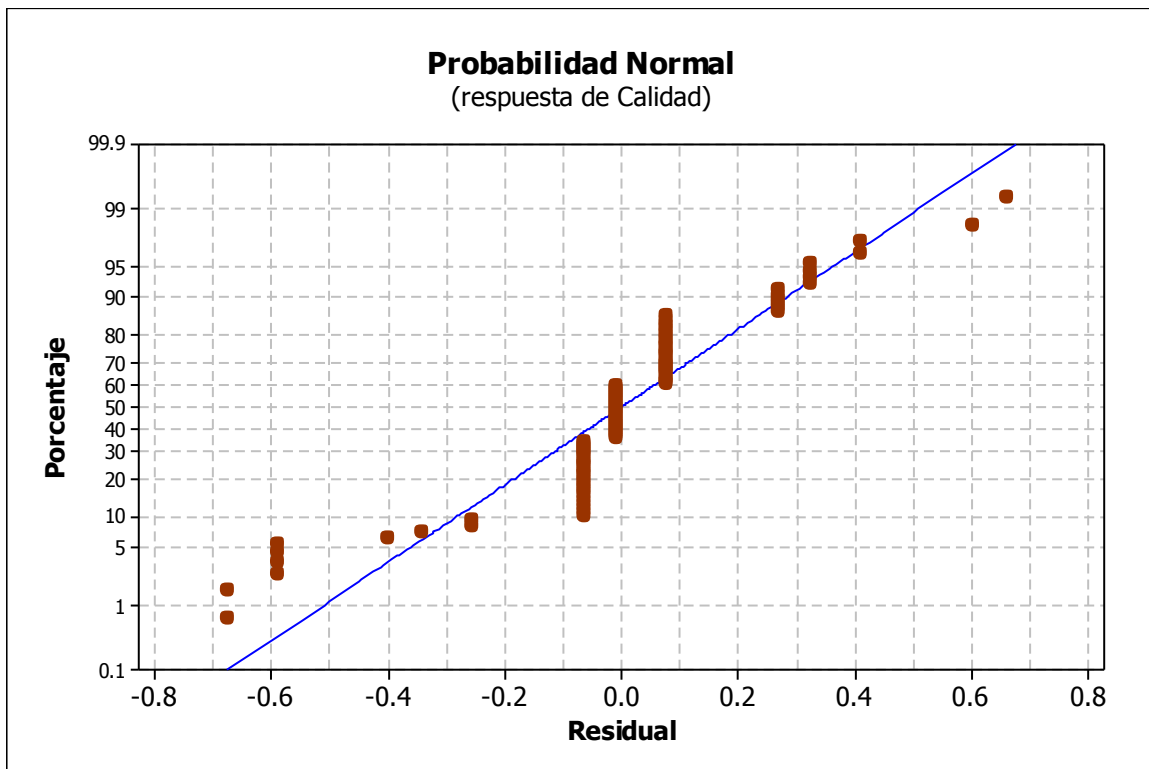
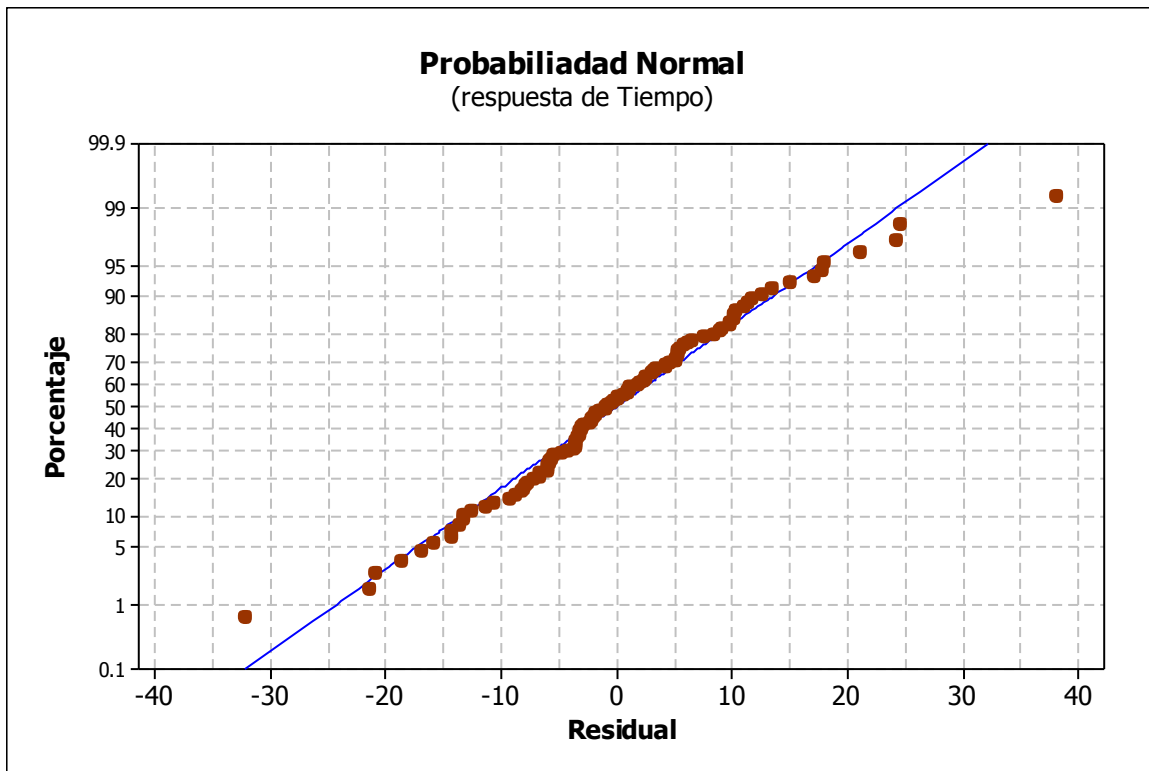
En el presente anexo se encontrarán las gráficas realizadas en Minitab con la finalidad de realizar el análisis estadístico del Análisis 2 del Estudio A. Es importante mencionar que sólo se muestran en calidad de ejemplo, pues se realizaron 108 gráficas para el Análisis 2 de los diferentes estudios.

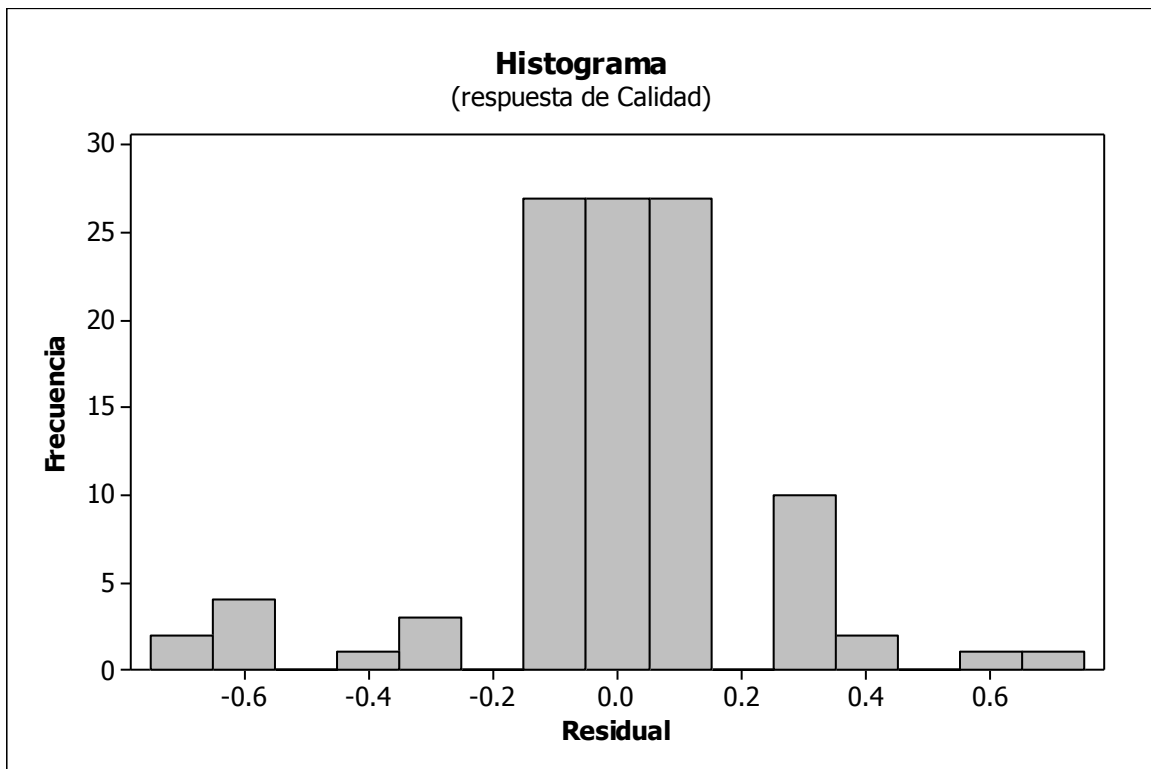
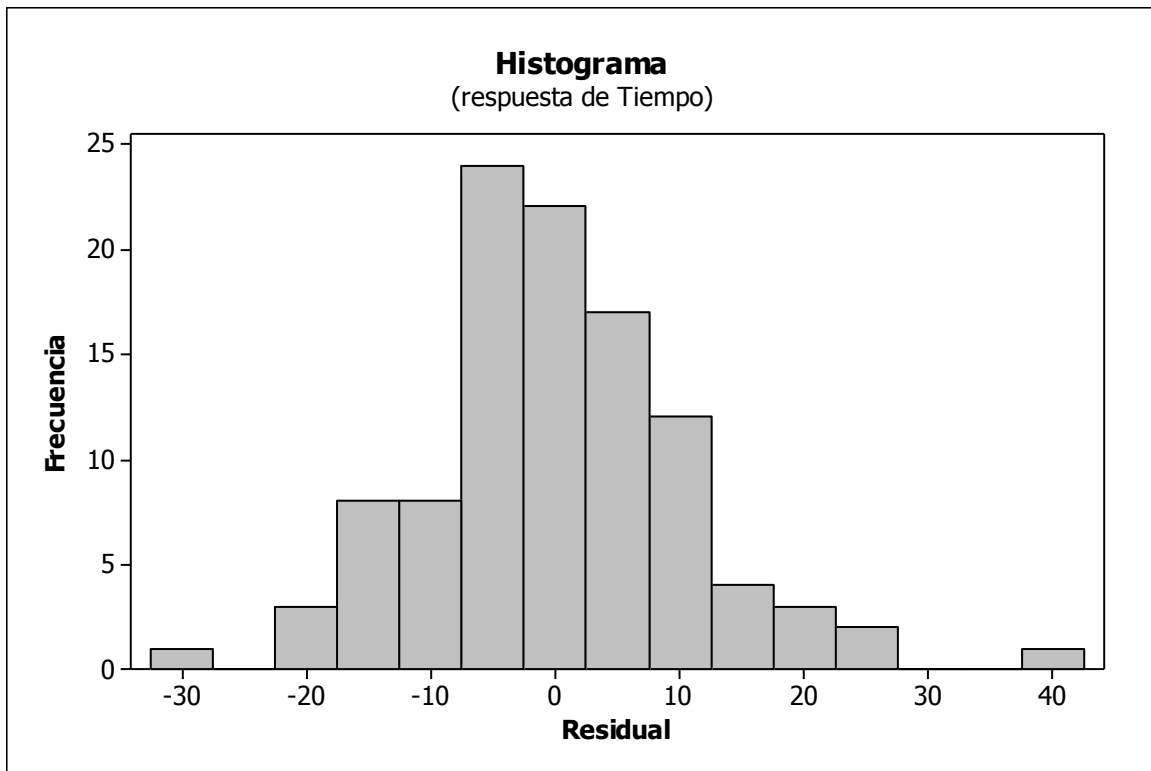


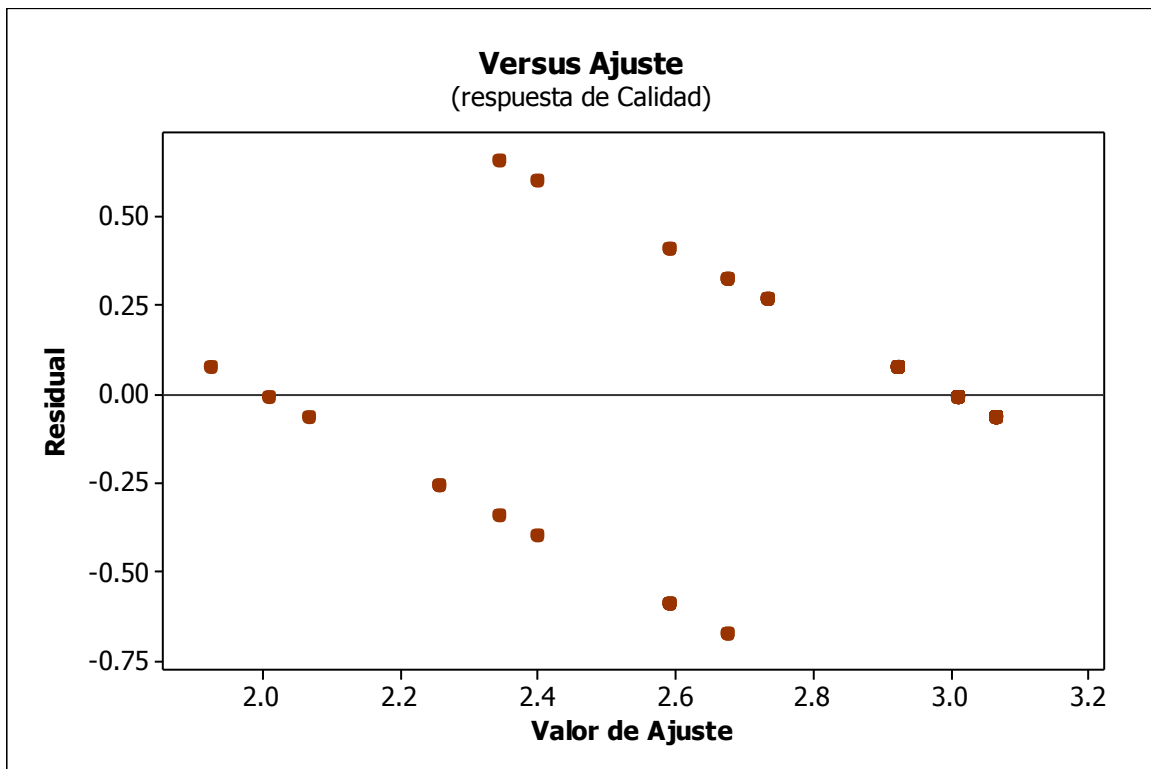
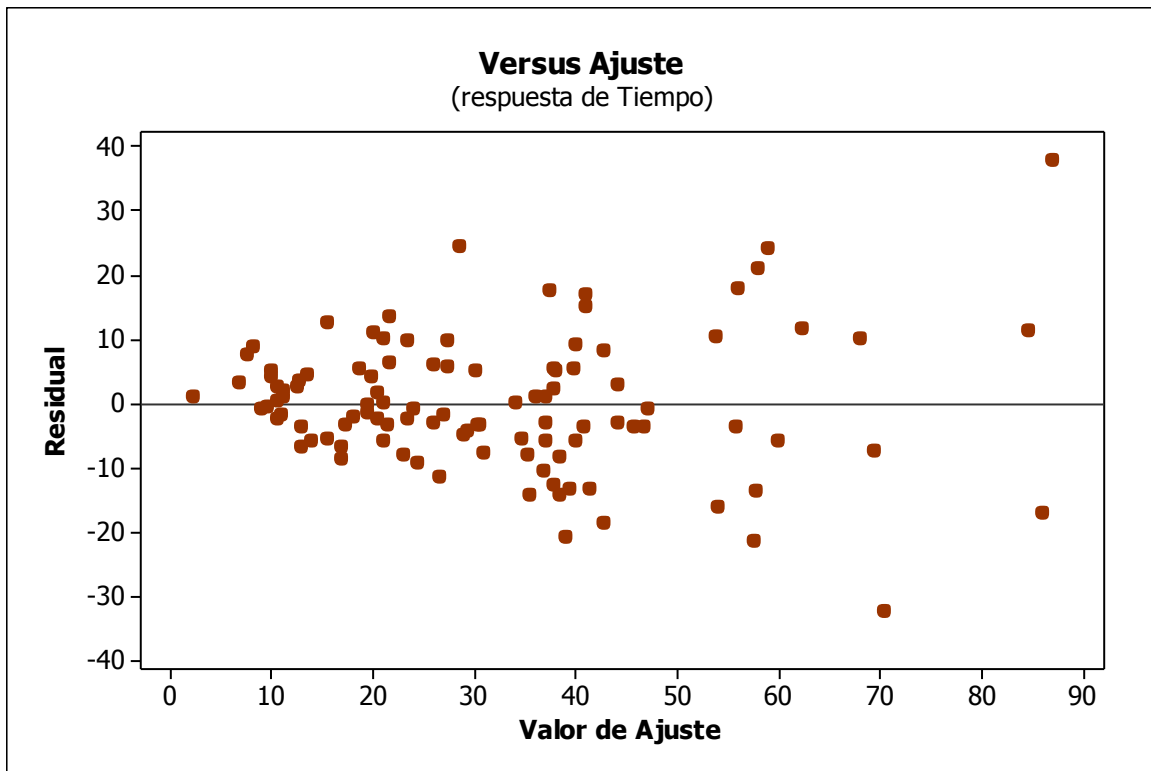












# CURRICULUM VITAE

Graduado como Doctor en Diseño-Nuevas Tecnologías por la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (2014). Graduado como Maestro en Diseño Industrial-Materiales y Procesos (2003) por la unidad de Posgrado en Diseño Industrial-UNAM. Graduado como Licenciado en Diseño Industrial (1993) por el CIDI-UNAM. En la actualidad labora como profesor asociado en el Departamento de Diseño Industrial del Tecnológico de Monterrey Campus Querétaro y es integrante fundador del Centro para el Desarrollo Docente y la Innovación Educativa del campus. Durante cinco años (2005-2010) fungió como Coordinador de los Talleres DICI-Diseño, Innovación y Creación Industrial. Ha presentado en dos ocasiones *papers* de investigación: la primera, en la onceava edición de la International Conference on Engineering and Product Design Education en la Universidad de Brighton, UK en Septiembre de 2009, con la presentación del *paper* “The future of Design Synthesis Education”; la segunda, en The First International Conference on Design Creativity en la ciudad de Kobe, Japón realizada en Noviembre-Diciembre del 2010 y con la presentación del *paper* “The Complementary Role of Representations in Design Creativity: Sketches and Models” (en coautoría con el Dr. Ricardo Sosa Medina y publicado por la editorial Springer). Cuenta con experiencia profesional de 12 años en diferentes despachos y empresas de diseño, desarrollando y montando exposiciones y puntos de venta (1992-2004).